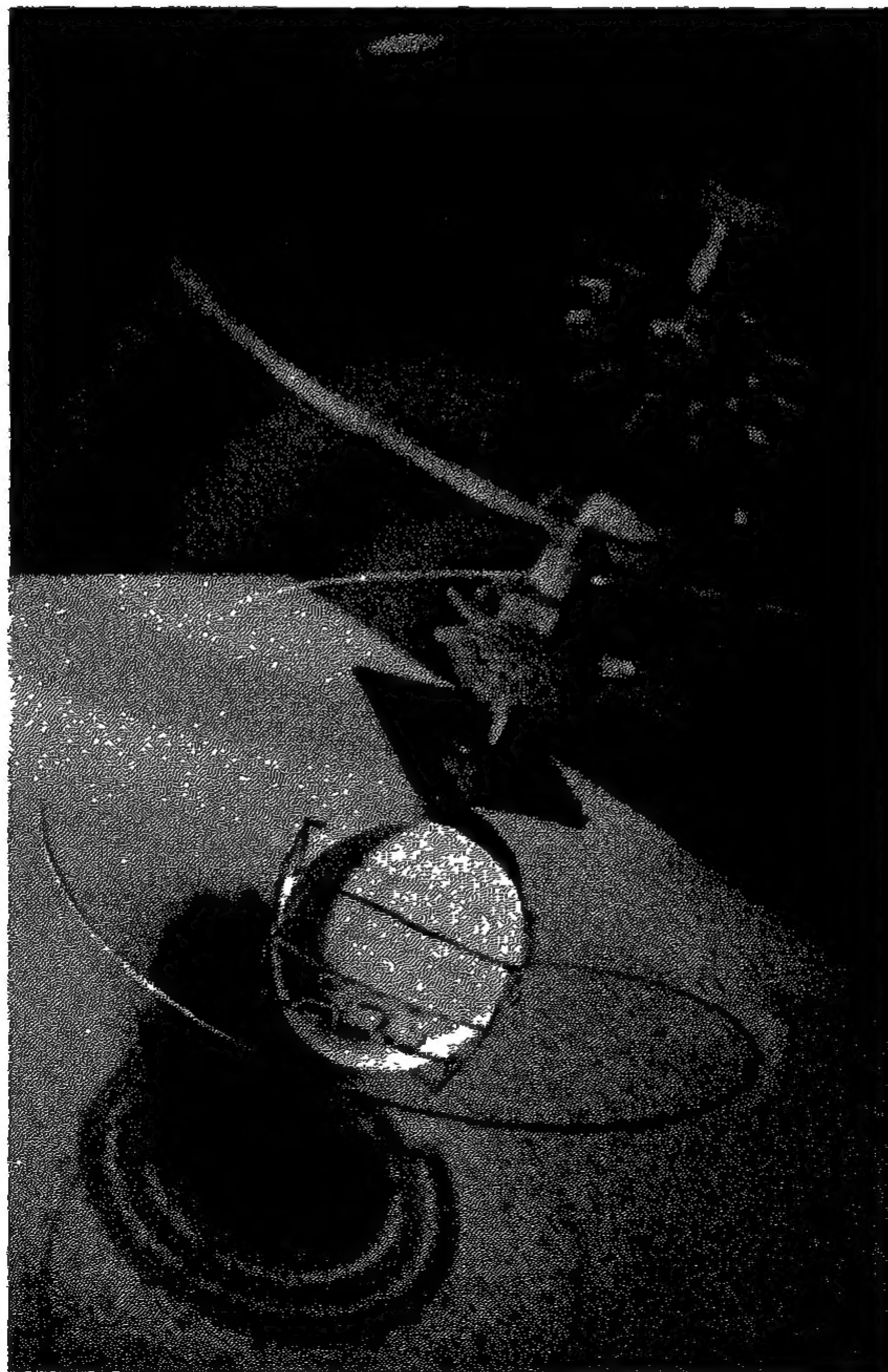
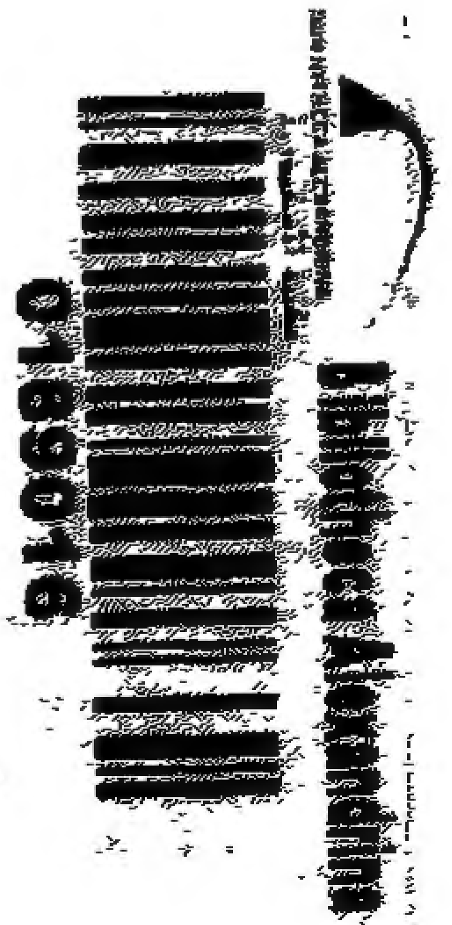
بين الزمن والأبدية

إيليا بريغوجين ■ إيزابيل ستنغرز

ترجمة

موسى ديب الخوري





معهد الإنماء العربي

بين الزمن والأبدية

بين الزمن والأبدية

تأليف

إيليا بريغوجين □ إيزابيل ستنغرز

ترجمة

موسى ديب الخوري



بين الزمن والأبدية

ص.ب. 14 - 5300
بيروت، لبنان
الطبعة الأولى
1999



الفهرس

مقدمة

لهذا الكتاب قصة طريفة. ففي الأصل كان يجب أن يشكّل مقدمة لمجموعة مقالات لأحدنا. وكان الأمر يتعلق بوصف الطريقة التي تحدّدت وتطوّرت بها الإمكانيات التي فتحها «الميثاق الجديد La Nouvelle Alliance» من خلال بضع صفحات لا أكثر. وشيئاً فشيئاً كان لا بدّ لنا من الاعتراف بالواقع، فـ «المقدمة» كانت قد أصبحت المؤلف الذي كنّا قد أشرنا إلى أهميته في مقدمة طبعة الجيب لـ «الميثاق الجديد». فقد كتبنا في حينها «إن العلم يعود لاكتشاف الزمن على كل المستويات. وربما كانت إشكالية الزمن هذه ستسمح لنا برؤية تشكّل نموذج جديد لوحدة المعرفة العلمية». لكننا استطردنا متأسفين «إلّا أن كتاباً آخر لا بدّ أن يكتب لرسم لوحة هذا التجدّد»[1].

ومع ذلك فإن التاريخ يعيد نفسه. فقد نبهنا قراءنا في «الميثاق الجديد» قائلين: «لقد اخترنا أن نقدم الأشياء بوضعها الراهن، مع إدراكنا كم أن إجاباتنا غير كاملة، وكم أن المسائل التي تثيرها النظريات الحالية لا يمكن توقّعها هي أيضاً». ويظل ذلك صحيحاً أكثر من أي وقت مضى. فخلال السنوات الأخيرة المنصرمة شهدت بعض المسائل النظرية الأساسية في المنظور الذي هو منظورنا تطورات كبرى. وقد اخترنا أن نصفها بشكل «مباشر»، حتى قبل أن يمكن لبعض هذه

التطورات أن يُنشر في مجـلات علمية متخصصـة. إن هذه المسـائل الجـديدة وهي في أوج تطورها اليوم تجعل من هذا الكتاب ليس «تتمة» للميثاق الجـديد بـل تناولاً أكثر جذرية للمسألة التي كانت خيطه الموجّه، ألا وهي الزمن.

كـان الميثاق الجـديـد في قسمـه الأكبـر مخصصـاً لتجـدّد شكـلانيـة الـزمن المحـرض بتطور ترموديناميكية المنـظومات البعيـدة عن التوازن. وقـد عرضنـا فيـه انقلاب النموذج الكلاسيكي الذي كان يطابق بين ازديـاد الانتروبيـا entropie والنمو بـاتجاه الفـوضى. ووصفنا فيـه الدور الإنشـائي للظاهرات الـلاعكوسـة ولظاهـرات التنظيم الذاتي التي تنشأ بعيداً عن التوازن. كما ونـاقشنا فيـه الدور الـذي يمكن أن تلعبه «البنى المبدِّدة» في فهم الحياة. وقد شهدت السنوات العشـر التي تفصلنا عن هذه الأعمال تطوّراً مدهشاً لعلم اللاتوازن الجديد.

كـذلـك فقـد أوصـل «الميثـاق الجـديـد» النقـاش إلى قلب الـديـناميكيـة الكـلاسيكية. وقـد بيّنا كيف أن «تجـدّد» الديـناميكية، المقتـرن باكتشـاف الأنظمـة الـديناميكيـة غير المستقـرة، أعاد طـرح مسألـة المثال الجبـري الذي كـان قـد قـاد الديناميكية منذ البداية. كما وأظهرنا أن هذه الأنظمة غيـر المستقرة تقـود إلى وصف جديد يميّز الانتقال من الجبرية إلى الاحتمالات، ومن العكوسية إلى اللاعكـوسية. وكان يمكن لهذه النتائج في ذلك الوقت أن تبدو لبعضهم كنتائـج ثوريـة، أما اليـوم فهي مقبـولـة إن لم يكن من الأغلبيـة فعلى الأقـل من عـدد لا ينفـك يتـزايـد من الفيزيائيين.

وفي مجـالي الميكـانيـك الكمـومي وعلم نشـأة الكـون، اللذين لم يعـرض لهمـا الميثاق الجديـد إلاّ بـإشـارات سـريعـة، بـاتت تُـطرح وبشكـل ملحٍّ مسـألـة الزمن. فالميكانيك الكمومي وعلم نشأة الكون (الكوزمولوجيا)، المؤسّسان على نظرية النسبية العامة، هما «علما الطليعة» في قرننا هذا، وهمـا العلمان اللذان حـلاّ محل الديناميكـا الكلاسيكية كـ «علمين أساسيين». وهذان العلمان هما اللذان يواجهـاننا بالأسئلة التي كانت منـذ البدايـات أسئلة الفيزيـائيين: الفراغ والـزمن والمادة. وإنـه بالنسبة لهما إذن إنما تتفاعل مسألة الزمن كما كانت تتفاعل في نهايـة القرن التـاسع عشر بالنسبة للديناميكـا الكلاسيكية. والحالة هذه فإن الميكانيك الكمومي والنسبيـة العامة، مهما كان طابعهما ثورياً، يُعدّان من منظور مفهوم الزمن الوريثين المباشـرين للديناميكـا الكلاسيكية. وكما سنرى فإنهما مثـل هذه الأخيـرة يحملان نفيـاً جذريـاً للزمن اللاعكوس irreversible.

إن تشكيل تفسير ديناميكي للاعكوسية لا يعيد طرح مسألة الديناميكية الكلاسيكية على بساط البحث، إنما بالتأكيد نموذج البديهية الذي كان قد رافقها حتى هذه السنوات الأخيرة، نموذج المسار الجبري والعكوس. وبالمقابل فإن مسألة معنى الزمن اللاعكوس في الميكانيك الكمومي وفي الكوزمولوجيا ستقودنا إلى اقتراح تعديلات لهذه البنى التصوّرية.

عرّف هايزنبرغ Heisenberg يوماً أمام أحدنا ما كان يشكل الفرق بالنسبة له بين رسام تجريدي وفيزيائي نظري. فالرسام كما كان يقول سيحاول أن يكون أكثر ما يمكن أصالة في حين أن الفيزيائي سيحاول من جانبه البقاء أكثر ما يمكن إخلاصاً لتقليده النظري، ولن يعمل على تغيير موقفه إلاّ تحت الضغط والإكراه. وإننا لنوجد اليوم فيْ وضع مماثل تماماً. وكما سنرى، فإن ضغوطاً داخلية على الفيزياء، وليس اليقين مهما كان عمقه بأن اللاعكوسية يجب أن يكون لها معنى جوهري داخل الفيزياء، هي التي ستسمح لنا باقتراح تغيير للمناظير الجوهرية للفيزياء.

ومع ذلك، فإن مثل هذه المسيرة مسيرة جسورة. فالأمر يتعلق بإعادة النظر في العلمين اللذين حوّلت خصوصيتهما صورة الفيزياء المعاصرة. ومن جهة أخرى، وكما سبق وقلنا، فهي تقتضي أبحاثاً لا تزال في طور الإجراء وستشهد دون شك تطورات غير متوقعة. لكننا متيقنون أنه من المستبعد حصول أي تراجع إلى الوراء أياً كانت هذه التطورات. ويبدو لنا أن الصفة اللاشرعية لمثال البداهة الذي كان قد قاد حتى هذه المرحلة الفيزياء الحديثة، بما فيها الميكانيك الكمومي والنسبية، باتت صفة مقررة. إن صفحة من تاريخ الفيزياء قد طويت بشكل نهائي.

إن القرن العشرين لا يقارن، من وجهة نظر التحوّلات التصورية الجوهرية التي شهدتها الفيزياء، إلاّ بالقرن السابع عشر الذي شهد ولادة العلم الحديث. لقد بدأ قرننا بانفجار مزدوج، من خلال إبداع المخططات التصورية الكبرى التي لا تزال راجحة اليوم، النسبية والميكانيك الكمومي. ويا للغرابة، فإننا نستطيع اليوم أن نفهم بشكل أفضل لماذا كانت هذه المخططات، على الرغم من طابعها الثوري، تشارك أيضاً بتقليد الفيزياء الكلاسيكية التي غذتها، لأنه أعيد طرح هذه الاستمرارية المخفية على بساط البحث من خلال الإكتشافات غير المتوقعة التي ميّزت الفيزياء ابتداء من الخمسينات: لاإستقرارية الجسيمات الأولية، بنى

اللاتوازن، تطوّر الكون. وفي الحقيقة تتجه هذه الأنماط الثلاثة للاكتشافات في الاتجاه نفسه، أي نحو ضرورة تجاوز نفي الزمن اللاعكوس الذي يشكل الإرث الذي أورثته الفيزياء الكلاسيكية للنسبية وللميكانيك الكمومي. إن تلاحماً جديداً يتحرر اليوم: فعلى كل مستويات الفيزياء نجد هذا الزمن الذي كان ينفيه التقليد الكلاسيكي.

وهكذا فإن الحقل الذي يغطيه هذا الكتاب أكثر اتساعاً بكثير من حقل «الميثاق الجديد». وهذا التوسّع يعكس خصوصية الفيزياء، المتميزة بآن واحد بتنوّع أعمالها النظرية والصلابة العميقة التي توحدها. إن خصوصية الفيزياء هذه هي التي تشكل الناظم الأساسي لكتابنا، وليس أبداً تاريخها كما كان الحال في الميثاق الجديد.

ومع ذلك فإن كتابنا ليس مقدمة للفيزياء المعاصرة. ولن يجد القارىء في الفصول التالية عرضاً عاماً للديناميك أو للترموديناميك أو للميكانيك الكمومي أو للنسبية. كذلك فإنه لن يجد تفحُّصاً لعدد من المواضيع الهامة في الفيزياء الحالية، مثل مسألة التناظر وتوحيد القوىٰ الأساسية. ومن جهة أخرى، وبخاصة في حالة علم الأنظمة المبدِّدة البعيدة عن التوازن، فإننا لن نقوم بمسح كامل بل سنستمد معلوماتنا بشكل أساسي من مسائل عالجها فريقنا. إن محاولة الحلول محل المؤلفات العامة التي تدخل الجمهور المثقف إلى مختلف حقول الفيزياء كانت لتكون مشروعاً عديم الجدوى بقدر ما هو فعّال. وكانت لتكون فوق ذلك معاملاً لسوء فهم: فكتابنا ليس تقديماً للفيزياء إنما متابعة لمسألة وحيدة عبر تعدُّدية حقولها. وهكذا ستقودنا هذه المسألة إلى التعرّض لمجالات معينة، وبخاصة للميكانيك الكمومي ولعلم نشأة الكون، وذلك وفق طريقة غير مألوفة عادة، إنما يمكن باعتقادنا فهمها بالنسبة للقرّاء المهتمين بتطوّر الأفكار العلمية في أيامنا هذه. وقد أضفنا ثلاثة ملاحق لمن يريد تعميق بعض الجوانب الأساسية من هذا المؤلف، وتتطلب هذه الملاحق دون الدخول في تفصيل الاستنتاجات الرياضية بعض المعارف التقنية.

وسيكتشف القارىء، كما نأمل، عبر القدرة التحريضية للتساؤل الذي يقودنا تماماً كما ألهم الحياة العلمية لأحدنا، كم أن النظريات الفيزيائية غريبة عن الصورة شبه التسلطية التي نقترحها لها غالباً. إنما هي صفتها الاختراعية الجريئة والمخاطرة

من إبداع المعنى، التي ستكشفها هذه النظريات بمجابهتها بمسألة الزمن. وهذه الصفة هي التي ستسمح لنا بأن نفهم كيف استطاعت حتى الآن أن تنفي الزمن الذي تثبته مع ذلك شروحنا الوصفية الظاهراتية للطبيعة، وكيف أنها تستطيع اليوم تضمينه في أكثر مستويات الفيزياء جوهرية.

كان الخيط المرشد للميثاق الجديد هو تاريخ الفيزياء. أما كتابنا «بين الزمن والأبدية» فهو يستكشف المواجهة بين المخططات التصورية للفيزياء ومسألة الزمن. ولهذا فقد انطلقنا من عمل بولتزمان Boltzmann. والأمر يتعلق بأول مشهد من هذه المواجهة، اللحظة التي فهم فيها الفيزيائيون الخاصية الجذرية للضغوط التي كانت الديناميكا الكلاسيكية تفرضها على الطريقة التي كان بإمكاننا التفكّر بالصيرورة بها.

ويعتقد معظم الفيزيائيين منذ بولتزمان أن حقيقة الزمن الفيزيائي يجب أن تُحدَّد على مستوى النظريات الأساسية، ومن هذه النظريات يجب أن ينتج دستور الزمن الخاص بتوصيفاتنا الظاهراتية. أما مسعانا فيتبع اتجاهاً معاكساً. وبهذا المعنى فهو مواز بعض الشيء لمسعى برغسون Bergson، والذي يجب أن تكون بالنسبة له نقطة إنطلاق كل فكرة بحثاً عن الحقيقة هي تجربتنا الأكثر حميمية، «الشعور الذي لدينا بتطورنا وبتطور كل الأشياء في الوقت البحت»[2]. ومع ذلك فإن نقطة انطلاقنا لن تكون بداهة «تجربتنا الحميمة»، بل بداهة متأصلة في الفيزياء نفسها: فمجموعة الأوصاف الفيزيائية الظاهراتية لا تثبت فقط سهم الزمن، بل وإنها لتقودنا اليوم لفهم عالم في صيرورة، عالم يكتسي فيه «انبثاق الجديد» معنى لا يمكن اختزاله. فبدلاً من محاولة «استنتاج» الزمن الظاهراتي من الزمن «الجوهري»، فإننا سنطرح للمساءلة مفهوم الزمن الفيزيائي في النظريات الأساسية ابتداء من البداهة الظاهراتية.

إن مسعانا، بمقدار ما يعكس العلاقة الشائعة بين «الأساسي» و«الظاهراتي»، والتي كانت تقود إلى محاكمة البداهة الظاهراتية ابتداء من النظريات الجوهرية، يطرح مباشرة مسألة السلطة التي كانت قد أسندت تاريخياً إلى هذه النظريات. كيف نفهم أنه من مسألة «تقنية» ظاهرياً ـ استحالة تحديد خاصية يجعلها تطوُّر نظامٍ ديناميكيٍ تنمو خلال الزمن مثل الانتروبيا entropie ـ أمكن أن يولد تثبيت النتائج شبه غيرِ المعقولة: إذ ليس للإختلاف بين الماضي والحاضر حقيقة موضوعية؟ كيف نفهم الخصوصية الثقافية التي سمحت للفيزياء بنفي بداهة جبرية إلى هذا الحد،

لم تكن أية ثقافة قد طرحتها على بساط البحث حتى الآن؟ إن الفصلين الأولين من محاولتنا هذه مخصصان لهذه المسألة.

ويستكشف الفصلان الثالث والرابع من «بين الزمن والأبدية» التطوّر المعاصر لعلم السيرورات المبدِّدة هذا، وهي منتجة الانتروبيا، والذي فُسِّر بعد بولتزمان على أنه متعلق فقط بالصفة التقريبية لمراقباتنا ولحساباتنا. وسنبين أن هذا العلم أصبح اليوم علم الصيرورة، ليس فقط بالمعنى الذي سيعطي فيه نموذجاً عاماً للصيرورة والذي يجب أن تخضع له العلوم الأخرى، بل بالمعنى الذي يكتشف فيه إنطلاقاً من مواضيعه الخاصة الإشراطات التي لا يمكن بدونها لأي علم، أكان بيولوجياً أو اجتماعياً، أن يحدد الصيرورة: اللاعكوسية، الاحتمالات، الترابط المنطقي.

لقد أعطينا مكاناً رحباً في هذين الفصلين للمفاهيم الجديدة كالجاذب attracteur والأفق الزمني horizon temporel والهَباء chaos، والتي تتأكد أهميتها كل يوم باستمرار بشكل أوضح. والأمر يتعلق حقيقة بأدوات جديدة للفكر تولّد أسئلة ومناظير غير متوقعة وتحث على تقاربات بين حقول متباينة قبلياً. ومنذ الآن تجدّد هذه الأدوات ما نفهمه بـ«تفسير» في علوم الطبيعة. وسنبيّن بشكل خاص كيف أنها قابلة لفتح الطريق الذي يمكن أن يقودنا إلى فهم غير مختزل لظهور الحياة ابتداء من عالم السيرورات الفيزيائية ـ الكيميائية.

ويعود الفصل الخامس لمسألة بولتزمان وإلى المفهوم الذي لا تكون اللاعكوسية وفقه سوى خاصية ظاهراتية محددة بالمقاربات التي ندخلها بنمط وصفنا للطبيعة. وتجعل خصوبة فيزياء الأنظمة المبدِّدة مثل هذا المفهوم مزعزعاً. ومع ذلك فإن واقع أن قوانين الديناميكا تبدو جاهلة لسهم الزمان يطرح مسألة ستكون لازمة كتابنا: فالزمن اللاعكوس لا يمكن أن «يولد» من رحم واقع عكوس. فإما أن نتوصل إلى تحديد هوية الزمن اللاعكوس على كافة المستويات، أو لن نستطيع فهمه على أي مستوى.

وسنبين كيف أن تجدّد الديناميكا الكلاسيكية، المتمركزة حول مفهوم اللاإستقرارية، يسمح بتحديد الأنظمة الديناميكية الكلاسيكية العكوسة كحالات حدية خاصة وليس كما كان يُعتقد كنماذج ممثلة للسلوك الديناميكي. وضمن هذا المنظور إنما سنعيد تناول مسألة بولتزمان، أي مسألة الرابط الذي تقيمه الديناميكا

مع النظرية الحركية، العلم الذي انطلق منه بولتزمان ليبني نموذجه الصغري microscopique للانتروبيا. وكما سنرى، لم تفقد التفنيدات فقط التي وجهت ضد بولتزمان مصداقيتها اليوم، بل إننا نستطيع تقديم سمة أكثر جذرية للتفسير الذي اقترحه. وفي الواقع، فإن التصادمات داخل منظومة مؤلفة من عدد كبير من الجسيمات، كما تدرسها النظرية الحركية، لا تشكل فقط الآلية الصغرية للتطوّر اللاعكوس لهذا النظام باتجاه التوازن. فاللاعكوسية ليست «مخلقة» بشروط عيانية macroscopique من اللاتوازن؛ إنما هي الشروط العيانية للتوازن التي تمنع سهم الزمن، الماثل دوماً على المستوى الصغري، من الظهور من خلال قوى عيانية.

وفي الفصل السادس سنتطرق لمسألة الميكانيك الكوانتي، العلم الذي حلّ في القرن العشرين محل الديناميكا الكلاسيكية بما هو طريق للولوج إلى العالم الصغري. وهنا، وكما كنّا قد أشرنا، ليس من الممكن أن نحدّ أنفسنا بتفسير جديد لمعنى ولمضمون المعادلات الأساسية. وتفترض هذه الأخيرة في الواقع المصداقية العامة للنموذج الذي أظهر تجدّد الديناميكا حدوده، نموذج المنظومة الديناميكية «القابلة للتكامل» مع السلوك المحدّد والعكوس. وكما سنرى فإن هذا النموذج هو أصل البنية الثنائية للنظرية الكمومية: فمن جهة هناك المعادلة الأساسية، معادلة شرودنغر Schrödinger، وهي تحديدية وعكوسة؛ ومن جهة أخرى هناك «اختزالها» اللاعكوس الذي يسمح بتخمين النتائج الممكنة لقياساتنا بحدود احتمالية. ونتيجة هذه البنية هي أن الميكانيك الكمومي يبدو ناسباً دوراً أساسياً لفعل المراقبة محدداً أننا سنكون نحن، المراقبون، الذين سندخل بقياساتنا الاحتمالات واللاعكوسية في عالم سيكون تحديدياً وعكوساً من دوننا.

لقد حرضت البنية الخاصة جداً للميكانيك الكمومي جدالات كثيرة. وقادنا بحثنا إلى إعطاء معنى دقيق لما كان كارل بوبر Karl Popper قد عبّر عنه بـ «حلم ميتافيزيائي»: «من المرجح أن عالمنا، حتى وإن لم يكن ثمة (موضوع مراقِب) يجرب ويتداخل معه، سيكون بنفس الدرجة من اللاتحديدية التي هو عليها[3]».

كان التشكيل الأول للنظرية الكمومية théorie quantique المنسوب لبور Bohr وسومرفيلد Sommerfeld وأينشتاين Einstein قد أسند للحدث الإتفاقي دوراً مركزياً. ولم تكن «قفزة» الإلكترون من مدار إلى آخر لتستجيب إلى قانون

تحديدي، بل إلى وصف احتمالي، مثل التصادمات في النظرية الحركية الكلاسيكية. وسنبين أن هذه الأحداث الكمومية هي التي تفرض حداً على مصداقية الميكانيك الكمومي الحالي. فكما هذه التصادمات، تستتبع هذه الأحداث التخلي عن نموذج «المنظومة القابلة للتكامل». والتشكيل الجديد الذي توصلنا إليه يعيد لها المعنى الذاتي الذي كان لها في النظرية الكمومية الأولى ويسمح بالتأكيد على أن أبسط الأشياء الكمومية، ذرة الهيدروجين، مُعلَّمة الآن بسهم الزمن.

إن النظرية الكمومية هي اليوم النظرية الفيزيائية الأفضل إثباتاً بالتجربة. كذلك يبدو لنا من الأهمية بمكان أن الصيغة الجديدة التي نصفها هنا تسمح بالتنبؤ بانحرافات بالنسبة لتكهنات النظرية الكمومية المألوفة. وبالنظر إلى التطور الحالي للتقانات التجريبية يجب أن نتمكن من ملاحظة هذه الانحرافات المتوقعة خلال السنوات القادمة. وأياً كان الأمر فإن الرهان واضح: هل لمفهوم الحدث معنى على المستوى الجوهري للفيزياء؟ وما هذا الرهان سوى ذاك الذي كان يسكن «الميثاق الجديد»: هل علينا أن نعترف بأن الزمن يفصل الإنسان عن الطبيعة، أم أننا نستطيع بناء نمط من المعقولية ينفتح على فكرة الزمن الإنساني كتعبير مثار لصيرورة نتقاسمها مع الكون؟

تحدثنا لتوّنا عن الكون. وأحد المعالم الأكثر تمييزاً لفيزياء القرن العشرين أنها جعلت من الكون موضوعاً علمياً. ومذاك، بات يمكن ويجب طرح سؤال الزمن بالنسبة للكون أيضاً. وسيبين الفصل السابع من هذا الكتاب الصلة بين هذا السؤال وما دعاه جون ويلر John Wheeler «أكبر أزمات الفيزياء»: الضرورة الناجمة عن النماذج الكوزمولوجية المعاصرة بتصوّر خصوصية في أصل الكون، هي الإنفجار الكبير (البيغ بانغ Big Bang)، والتي تفلت من نظرياتنا الفيزيائية.

وقد أدخلت النسبية العامة، وهي أساس نموذج النشوء الكوني السائد اليوم، النموذج القياسي، مفهوماً ثورياً لعلاقة بين الزمكان والمادة. لكن هذه العلاقة تدرك كعلاقة تناظرية جوهرياً: فوجود المادة يحدّد انحناء الزمكان، وهذا الأخير يحدّد حركة هذه المادة. والنسبية العامة، ليس أكثر من النظرية النيوتونية للحركة التي هي وريثتها، لا تعطي إذن معنى للاعكوسية، ولا يمكنها بشكل خاص أن تسمح بتفسير الإنتاج الهائل للانتروبيا الذي ميّز كما نعلم اليوم ولادة كوننا. وبحسب المنظور الذي سنقدمه في هذا الكتاب فإن هذا الإنتاج من الانتروبيا هو الذي يشكل

«الثمن» الحقيقي لمرور كوننا إلى الوجود والذي يخلق بالتالي الفرق بين هذا الكون المادي وكون فارغ. وكما سنرى، فإن إمكانية تحديد هذا الإختلاف وهذا المرور إلى الوجود قادتنا إلى تعميم لمعادلات أينشتاين التي تسمح بوصف سيرورة لاعكوسة من «خلق» المادة. وهكذا يمكن أن تحلّ محل الخصوصية البدئية التي يفرضها النموذج القياسي «لاإستقرارية» تقود إلى خلق متزامن لمادة ولانتروبيا كوننا.

كان أينشتاين يحلم باستمرار بتوحيد الفيزياء، واكتشاف المبدأ الوحيد الذي يعطي واقعيته للحقيقة الفيزيائية. وكان هذا الحلم يكرس الصيرورة لكي لا تكون بالنسبة للفيزياء سوى عائق ووهم يجب تجاوزه. واليوم تفاجئنا الصيرورة حيث كان هذا الحلم بالضبط قد وجد تعبيره الأفخم، في تناظر العلاقات التي أنشأتها النسبية العامة بين المادة والزمكان. إن اللاإستقرارية البدئية التي التمسناها تجعل من الكون نتاج شرخ في التناظر بين الزمكان من جهة والمادة من جهة أخرى. وعندها تتوضع ولادة كوننا المادة تحت إشارة اللاعكوسية الأكثر جذرية، لا عكوسية تمزق النسيج الصقيل للزمكان المؤدّي إلى ولادة المادة والانتروبيا في آن واحد.

لقد دخل الزمن اللاعكوس إذن اليوم إلى كافة مستويات الفيزياء، وهو يسمح باستشفاف إمكانية ترابط جديد متمحور حول هذه الصيرورة التي كانت فيزياء الأمس تعرفها كعائق. وهذا التحوّل التصوري الجذري هو الذي يترجمه عنوان كتابنا «بين الزمن والأبدية». فمنذ البداية كانت الفيزياء ممزقة بالتعارض بين الزمن والأبدية: بين الزمن اللاعكوس للأوصاف الظاهراتية والأبدية المعقولة للقوانين التي كان يجب عليها أن تسمح لنا بتفسير هذه الأوصاف الظاهراتية. واليوم لم تعد الصيرورة تتعارض مع المعقولية، لكن مسألة الأبدية لم تصحر الفيزياء بسبب ذلك. بل على العكس تماماً، فهي تنبعث كما سنرى، في حلّة جديدة، في إمكانية عود أبديّ، سلسلة لانهائية من الأكوان تترجم الأبدية اللامشروطة لسهم الزمن هذا الذي يمنح فيزياءنا تماسكها الجديد.

. إن إعادة الابتكار هذه للتمفصل بين الزمن والأبدية تظهر خصوبة التقليد الفيزيائي، الذي كان بالأمس حاملاً لنفي جذري للزمن، والقابل اليوم للتجدّد لكي يعطي معنى للصيرورة. كذلك فإنها تبدو لنا مميّزة لانتماء هذا التقليد للثقافة الغربية التي سكنتها هي أيضاً مسألة الصلات بين الزمن والأبدية.

وكما كنّا قد أشرنا في «الميثاق الجديد»، فإن مثال الأبدية الذي كانت تحمله

الفيزياء بدا أنه فرض مواجهة مأساوية بين الإنسان، الذي تفترض حريته وجود الزمن وتؤكد هذا الوجود، وعالم غير فاعل قابل للضبط وشفاف بالنسبة للمعرفة الإنسانية. وهكذا فقد ساهم تطور العلوم بتجميد التوترات التي تميّز منذ الأصل الثقافة الغربية في تعارضات لا غنى عنها، ممّا يعني أيضاً انقطاع الحوار الذي كان عظيم الخصوبة في الأفكار والمسائل حتى نهاية القرن الثامن عشر بين العلوم والفلسفة.

ويبدو لنا استئناف هذا الحوار أمراً أساسياً. فمن المذهل أن نستنتج إلى أي حدّ من الشائع اليوم أن يلتفت العلماء نحو فلسفات من نمط شرقي عندما يبحثون عن وسائل التفكير بالمعنى الوجودي لنشاطهم. وهكذا فقد عرض شرودنغر وهو أحد أكبر علماء الفيزياء في القرن العشرين «تصوّراً للعالم» مستوحى بشكل أساسي من الفيدا[4]. وكما يؤكد فيه فإن المفاهيم والمعارف التي خلقها العلم لم يكن لها أية علاقة مع «تصوّر فلسفي للعالم». وعلى العكس، يعمل آخرون مثل ديفيد بوم David Bohm على إظهار أنه إلى ما وراء اللغة الثنائية التي ورثتها العلوم عن التقليد الغربي فإن تطورها، وبخاصة تطور الفيزياء الكمومية، يقودنا لاكتشاف دروب السبرانية الشرقية. ونحن لا نعتقد بالتأكيد من جهتنا أن العلوم الحديثة مكرسة لإقامة صلات مع التقليد الغربي وحده. ومع ذلك، نرى أنه ليس للفيزياء أن «تتحرّر» من هذا التقليد الذي يميّز، إلى ما وراء هذا التقليد أو ذاك، البحث المجازف والمتحمس للعلاقات بين المعرفة والمعنى، بين العلم والتجربة.

ومع ذلك فإن الأمر لا يتعلق بالنسبة لنا بطرح «رؤية علمية للعالم» يمكنها توحيد العلم والفلسفة وحذف الاختلافات والتوترات. إن «رؤية علمية للعالم» أياً كان محتواها هي بالتعريف مغلقة، وحاملة لليقينيات، ومفضلة للإجابات بالنسبة للأسئلة التي حرضتها. وما نريد تقاسمه ليس «رؤية للعالم» بل رؤية للعلم. وكما الفن والفلسفة فإن العلم تجريب قبل كل شيء، وخالق للأسئلة وللمعاني. وهو لن يستطيع أن يقول لنا أكثر من الفلسفة ما «هو» الزمن، لكنه يطرح مثل الفلسفة مشكلة الزمن، وخلق تماسك بين تجربتنا الأكثر حميمية، ألا وهي تجربة الزمن، وطرائقنا في وصف العالم، ونحن أنفسنا الذين انبثقنا من هذا العالم.

إن لهذه الرؤية للعلم محمل طوباوي بالتأكيد، تماماً كما «الميثاق الجديد» بين المعارف والذي كان يدعو له مؤلفنا السابق. فهي تترجم الضرورة التي نحسّ

بهـا للتحرّر من الصـورة، التي لا تزال مسيـطرة اليـوم، ومن عقلية علميـة حيـاديـة مكـرسة لتـدمير مـا لا تستطيـع فهمه والتي يجب المـدافعة بمـواجهتهـا عن الأسئلة والمشـاعر التي تعـطي الحياة الإنسـانية معنـاها. وهي تتـرجم أيضاً اليقين العميق، الذي قاد العمل العلمي لأحدنـا، والذي بـه ووفقه قـادت تعميمات متعجلة، وليس حقيقته، العلم إلى معارضة الإنسان والعـالم الذي يحـاول فهمه. إن الكتـاب الذي نقدمه اليوم هو ثمرة طريق طويل مـا كان ليكـون ممكناً دون التزام غذّاه سؤال كـان في آن واحـد وبشكل لا يقبـل التجزيء علميـاً وفلسفياً ووجـوديـاً. فـإذا كـان هـذا الـطريق يقود اليـوم إلى المكاملة في قلب الفيـزياء لإشكـالية كـان يبدو أنهـا مقصاة تعـريفاً عنهـا، فـذاك يكفي ليشهـد على أن العلم هـو عمـل إنسـاني، وليس قـدراً محتوماً ـ عمل لا ينفك يخترع معنى الضغط المزدوج الذي يحرّضه ويخصبه، إرث تقليده والعالم الذي يسائله(*).

(*) نود في ختام هذه المقدمة تقديم شكرنا للاندويت Octave Landuyt لغلاف هذا الكتاب الذي يشهد على صداقة رائعة. كذلك يسرنا أن نشكر زملاءنا في بروكسيل وأوستين الذين ساهموا بشكل أساسي بالأبحاث المطروحة في هذا الكتاب، وبخاصة أنطونيو I. Antoniau وجهنيو J. Géheniau وغنزيغ E. Gunzig ومارشال M. Mareschal ومينة F. Mayné وميسرا B. Misra ونيكوليس G. Nicolis وبهوت S. Pahaut وبتروسكي T. Petrosky. كذلك يتوجه شكرنا إلى السيدة راوول ـ دوفال Raoul-Duval لصبرها ولاهتمامها العظيمين اللذين أثبتتهما لنا.

مقدمة الطبعة الجديدة

إننا سعيدان جداً بإعادة إصدار مؤلفنا «بين الزمن والأبدية» في سلسلة Champs في دار نشر Flammarion. كنّا قد كتبنا في المقدمة: «بين الزمن والأبدية يستكشف المواجهة بين المخططات التصوريّة للفيزياء ومسألة الزمن». ولم تفقد هذه المواجهة شيئاً من كونها مسألة مطروحة حالياً بشكل جوهري. وهكذا فإن ستيڤن هوكينغ Stephen Hawking في مؤلفه «موجز تاريخ الزمن»[1] أو ديڤيد رويل David Ruelle في مؤلفه «الهَباء والصدفة»[2] لا يزالان يدافعان اليوم عن الوضع الكلاسيكي، ويجعلان من سهم الزمن خاصية «ظاهراتية فقط» مشتقة بالنسبة للقوانين الجوهرية للفيزياء.

قد يبدو مدهشاً للقارىء أن علم السيرورات المبدِّدة، الموصوف في الفصلين الثالث والرابع من كتابنا، لا يكفي بذاته لإدانة هذا الوضع الكلاسيكي. لقد كان بإمكاننا عند الضرورة فهم وجود الظاهرات المبدّدة البسيطة، مثل الإنتشار أو اللزوجة، دون تجاوز إطار الديناميكا الكلاسيكية. لكن كيف نفسّر في هذا الإطار ظاهرات التنظيم الذاتي البعيدة عن التوازن، أو النواسات الكيميائية أو البنى الفراغية مثل بنى تورينغ Turing الملاحظة حديثاً على سبيل المثال؟ فكيف لا

نعترف للسيرورات المبدّدة، أي اللاعكوسة، بدور بنائي؟ وكيف نرجعها عندها إلى «مقاربة» ظاهراتية بسيطة؟

ومع ذلك تصطدم هذه البداهة الجديدة بحاجز، هو وجود «قوانين»، ديناميكية وكمومية للفيزياء، تصف واقعاً ذا تطوّر محدود وعكوس في الزمن. إن سلطة هذه القوانين، ولو جزئياً على الأقل، هي سلطة إيديولوجية. وتلكم هي المسألة التي نناقشها في الفصلين الأول والثاني من هذا الكتاب. إلاّ أن هذه السلطة تتأتّى أيضاً من النجاحات المميّزة التي صادفتها هذه القوانين، نجاحات ما كانت لتكون مفهومة لو أنها لم تقدم لنا منفذاً إلى الواقع. ولهذا لا يمكن تجاهل هذه القوانين، وكتابنا متمركز حول السؤال الذي تطرحه علينا. هل بإمكاننا تعميم مفهوم «قوانين الطبيعة» بحيث نضمنها سهم الزمن؟ هل بإمكاننا إلحاق اللاعكوسية، وهي سمة أساسية للظاهرات العيانية، بمستوى الديناميكا الكلاسيكية أو الكمومية؟

في مؤلفنا «بين الزمن والأبدية»، كما في «الميثاق الجديد»، نشير إلى أنه ابتداء من مفهومي اللاإستقرارية والهباء chaos كان يمكن أن يبنى تصوّر متماسك أخيراً للحقيقة الفيزيائية. وفي الفصل الخامس نقدم أمثلة على منظومات هبائية، في تحوّل الخباز و«الأنظمة الكبرى» لبوانكاريه Poincaré. وفي مثال تحوّل الخباز نبيّن أن اللاإستقرارية تتأتّى من «الحساسية تجاه الشروط البدئية»، وهو التعريف المتبع للهباء. كذا فإن مسارات متقاربة بقدر ما نريد تتباعد أسياً، ومذاك لا يعود مفهوم المسار قابلاً للتطبيق إلاّ من أجل أزمنة محدودة بـ«أفق زمني». فعلى مستوى إحصائي (احتمالي) إنما يمكننا أن نأمل برؤية ظهور إنكسار التناظر الزمني.

إن الحجج التي نقدمها في الفصل الخامس تبقى صحيحة، لكننا نستطيع اليوم المضي إلى أبعد بكثير منها. ونود هنا إعطاء فكرة عن هذه التطورات الجديدة[3]، والتي سنعرضها بشكل أكثر تفصيلاً في كتاب قيد الإعداد.

إن المسألة المركزية هي التطور الزمني المرتبط بالوصف الإحصائي. وعندما يتعلق الأمر بمنظومات مستقرة، فإن الوصف الإحصائي يمكن دائماً أن يُقلَّص إلى وصف تحديدي لمنظومة فردية، أي إلى تعريف لمسارها. فالوصف الإحصائي وصف «قابل للتبسيط». أما بالنسبة للمنظومات المزوّدة بهذا الأفق الزمني الذي ذكرناه أعلاه فإن الوضع يتغير بشكل جذري. وفي حالتها يكون التمثيل الإحصائي

«غير قابل للتبسيط»، والعودة إلى المسار تكون إذاك مستحيلة. إضافة إلى ذلك يكسر هذا التمثيل التناظر الزمني.

لا يمكن إذن للتطور الزمني للمنظومات المميزة بأفق زمني أن يوصف من أجل أي زمن إلّا بمساعدة وصف احتمالي. حتى أنه يمكننا اتخاذ هذه الخاصية على أنها التعريف الحقيقي للهباء. وبالطبع فإننا نستطيع أن نرى كحالة خاصة التعريف المتبع المرتبط بالحساسية تجاه الشروط البدئية. لكن تعريفنا للهباء أكثر عمومية لأنه يطبق أيضاً على المنظومات غير القابلة للمكاملة الكلاسيكية أو الكمومية التي ندخلها في الفصلين الخامس والسادس.

ولا يمكننا الدخول هنا في الرياضيات التي تشكل قاعدة هذه النتائج. ومع ذلك لنقم بملاحظة تحدّد المسألة. ففي الفصل السادس من هذا الكتاب نتحدث عن مؤثرات ذات توابع خاصة وقيم خاصة من فضاء هيلبرت Hilbert. وتنطلق نتائجنا الحديثة من تعميم لهذه المفاهيم (يعوض فضاء هيلبرت بفضاءات معمّمة تدعى «فضاءات هيلبرت المرتّبة rigged Hilbert spaces»)، ممّا يقود إلى قيم خاصة معقدة متضمنة لأثر التبدّد.

وتربط صيغتنا الرياضية الجديدة بشكل مباشر الهباء واللاعكوسية. وهي تسمح بتعميم لقوانين الطبيعة يتضمن مفهومي الاحتمالية واللاعكوسية دون أن يستدعي في أية نقطة مقاربة مرتبطة بالشكل المنتهي لمعارفنا. ونقدر أن هذا التعميم يحقق بأسلوب دقيق الهدف المتتابع في مؤلفنا هذا، ألا وهو توحيد الوصف الديناميكي الجوهري والفيزياء العيانية حيث يلعب سهم الزمن دوراً مركزياً.

وفي الفصل السادس، «تساؤلات الميكانيك الكمومي»، نطرح السؤال: هل بإمكاننا تصويب معنى ذاتي لمفهوم الحدث في الميكانيك الكمومي؟ ونستنتج أنه يجب من أجل ذلك أن نشدّد أكثر فأكثر على الصفة الاحتمالية للنظرية. وتدعم هذا الإستنتاج أيضاً الأعمال الحديثة، التي تسمح بتحديد صف من المنظومات الكمومية، هي «المنظومات الكمومية الهبائية»، والتي يصبح الوصف الاحتمالي لها غير قابل للتبسيط أو للاختزال. ومن جديد لا يمكننا تقليص الوصف بصيغ المجموعات إلى وصف تحديدي هو هنا بصيغ الدالة الموجية في فضاء هيلبرت.

إن سبب الهباء الكمومي هو ظهور حالات طنين ندخلها في الفصلين

الخامس والسادسّ (بعبارات تقنية فإن حالات الطنين هذه تزاوج بين طرفي قوسي «kets» و«bra» الميكانيك الكمومي). وكما سبق وأشرنا فإن حالات الطنين هذه تميّز مجموع الحالات الجوهرية للميكانيك الكمومي والتي توافق تفاعلات بين الحقول (يعني ذلك أيضاً تفاعلات المادة ـ الضوء). ويمكننا التأكيد أن ولوجنا إلى العالم الكمومي مشروط بوجود منظومات هبائية كمومية.

ويقتضي عدم قابلية التبسيط للوصف الإحصائي، بتوافق مع الوصف في الفصل السادس، أننا لم نعد قادرين على إعطاء قيمة محددة تماماً للطاقة. ولم ندرس بعد، ضمن مصطلحات هذه الصياغة الجديدة، مسألة انتقال سويات الطاقة المرتبطة بزمن حياة هذه السويات (أنظر الفصل السادس والملحق 2). أما في الوضع الراهن فيجب اعتبار «الأثر الثاني» المشار إليه كضرب من التخمين.

تقودنا إذن المواجهة بين المخططات التصورية للفيزياء ومسألة الزمن إلى توسّع، وإلى شبه انقطاع، للمخطط التصوّري الكلاسيكي. وقد أصبح هذا التوسيع ممكناً من خلال إدخال مفهومي اللاإستقرارية والهباء في الفيزياء الكمومية أو الكلاسيكية، لكن هذين المفهومين يفقدان في صيغتنا الجديدة أية صورة عائقة، أو حاجز يحدّ الولوج إلى «أبدية» القوانين التحديدية الجوهرية.

كتب ريشار تارناس Richard Tarnas في كتاب[4] حديث له يقول: «The deepest passion of the Western mind has been to reunite with the ground of its being». إن هذا الشغف الذي سكن الفيزياء منذ الإكتشاف غير المتوقع لقوانين كان يبدو أن الطبيعة تخضع لها كان مصدراً للضيق وللنصر في آن معاً. فقد كانت توافق هذه القوانين رؤية ثنائية بشكل لا يمكن تبسيطها تعارض بين إنسان حر، «عقلاني»، وكون آلي. إن التصوّر الهندسي للكون الذي وضعه أينشتاين، والذي نعرضه في الفصل السابع، ليس بعيداً جداً من وجهة النظر هذه عن التصوّر الديكارتي للمادة كـ «امتداد». كيف الإفلات إذن من التردّد الدائم بين تشاؤم عميق، يقود شعور الجدّة والإكتشاف الذي يسكننا إلى وهم ـ ألم تكن كتابة هذه المقدمة مبرمجة مسبقاً منذ بداية الكون؟ ـ وتفاؤل منظّم، الأمل، كما كتب هوكينغ، بأننا قريباً «سنعرف فكر الله»؟

إن الشغف الذي يقود العلوم اليوم أكثر توقداً من أي وقت مضى، لكنه يغيّر مغزاه. فـ «قوانين» الطبيعة، كما يمكننا فك رموزها منذ الآن فصاعداً، هي قوانين

كـون مفتوح. وهي تخصّ احتمـالات تطوّر، في مستقبـل لا تحـدّده. إنهـا لا تنفي المغـامرة الإنسـانية التي تشكـل إتمامـاً لها بـل إنها تثبت على العكس الصفـة غيـر القـابلة للتبسيط لما يكـون من دون هذه المغـامرة محـروماً من المعنى. كـذا فإنهـا تشكـــل «ممـراً ضيقـــاً» بين شكلين من الاستـلاب: الخضـــوع إلى قـوانين تقلص الاختراع إلى مظهر واللعبة التعسفية لأحداث احتمالية، لا معقولة. إن هذه الحركة المتميزة، نقطة الافتراق هذه، هي موضوع هذا الكتاب.

---

(1) S. Hawking. Une brève histoire du temps, Flammarion, 1989, réed., Coll. Champs, 1991.

(2) David Ruelle, Chaos et hasard, Paris, Editions Odile Jacobe, 1991.

(3) بعض المراجع الجديدة حول ذلك:

- T. Petrosky and I. Prigogine, «Poincaré's Theorem and Unitary Transformations for Classical and Quantum Systems», Physica A 147 (1988) 439.
- H. Hasegawa, T. Petrosky, I. Prigogine, and S. Tasaki, «Quantum Mechanics and the Direction of time», «Fondations of Physics. Vol. 21, No 3, March 1991.
- T. Petrosky and I. Prigogine, «Alternative formulation of Classical and Quantum Dynamics for Non - integrable systems», Physica A 175, (1991) 146 - 209, North Holland.
- I. Antoniau and I. Prigogine, «Dynamics and Intrinsic Irreversibility», Nuovo Cimento, (1992) in press.
- H. Hasegawa and W. C. Saphir, Physics Letter A 161 (1991) 471.
- H. Hasegawa and W. C. Saphir, Physics Letter A 161 (1992) 477.

Proc. of Solvay Conference on Quantum Optics Physics Reports to appear, éd. Paul Mandel.

(4) The Passion of the Western Mind, New York, Harmony Books, 1991, p. 443.

الفصل الأول

بحث مسألة الزمن

منذ ثمانين عـاماً ظهـر كتاب ميّـز تاريـخ الصلات بين العلم والفلسفـة وهو لا يزال يحرض اليـوم النقاشـات والمجادلات، إنـه «التطوّر المبـدع» لهنري بـرغسون Henri Bergson. وبعكس العـديد من الفـلاسفة بمـواجهة العلم لم يكن بـرغسون يهتم بمسائل مجردة مثل مصداقية القوانين العلمية، والحدود القصوى للمعـرفة. . . بل بما كان هذا العلم يقوله لنا عن العالم الذي يزعم أنه يفهمه. وكان حكمه يقـرع قرعة الحزن لهذا الادّعاء. وكما يبيّن فـإن العلم كان خصبـاً في كل مـرة نجح فيهـا بنفي الزمن، وقدم لنفسه مواضيع تسمح بإثبات زمن تكراري، وقلّص الصيرورة إلى إنتاج الشيء نفسه للشيء نفسه. لكن ما أن يترك العلم هذه المواضيع الأثيرة عنده، وعندما يحاول أن يوصل لنمط المعقولية نفسه ما يترجم في الطبيعة القـدرة المبتكرة للزمن، فإنه لا يعود سوى كريكاتير لنفسه.

وأثـار حكم برغسـون الاستنكار. كـان من الممكن جداً القبـول أن العلم لن يستطيع أبداً الولوج إلى المجالات المخصصة تقليدياً للفلسفة، مثل الفكر الإنساني والحرية والأخلاق. لكن مع الأخـذ به فـإن المجال الـذي يكون فيـه العلم خصباً، وليس المجال المخصّص للفلسفة، هـو الذي يتقلص مثـل جلد مخصّص للتجليد. والحق أنـه ابتداء من تجـربتنا الأكثـر حميمية، تجـربة الـدوام، وليس انـطلاقـاً من

مواضيع يميّزها علمنا، إنما نستطيع أن نأمل بفهم الطبيعة التي نتضامن معها.

إن الزمن المعاش، الزمن الذي هو حياتنا نفسها، لا يواجهنا إذن بحسب برغسون بعالم «موضوعي»، بل يترجم على العكس تضامننا مع الحقيقي. «إن أحد أهداف «التطور المبدع» هو إظهار أن الكل هو من طبيعة الأنا نفسها، وأننا ندركه بتعميق أكثر فأكثر كمالاً لأنفسنا[1]».

أما في النطاق الذي حاول فيه برغسون اقتراح مسيرة يمكنها أن تتشكل كمنافسة للمعرفة العلمية فقد فشل فيه. إن «شعورنا بتطورنا وبتطور كل الأشياء في الديمومة النقية[2]» لم يمكنه أن يتحول، بعكس ما كان يأمل، إلى منهج تقصّ قادر أن يصبح بدقة وبرسوخ المنهج الذي يقود العلوم[3]. ومع ذلك، ولأننا بالضبط لم نعد نأخذ بالحل الذي كان يراه يرتسم، وبإمكانية علم «آخر» نقطة انطلاقه حدس الديمومة الواقعية، فإن المسألة التي طرحها برغسون تسكن هذا الكتاب، كما سكن العمل العلمي لأحدنا. ترى هل بإمكاننا استرجاع حكم برغسون الذي تكرس وفقه المعرفة العلمية، وبخاصة المعرفة الفيزيائية، لمعارضة العالم الموصوف والذي يصفه، أحدهما مقابل الآخر؟

كان حكم برغسون يتجاهل كما نعتقد واقع أن الفيزياء ليست أمراً معطى، وانطلاقاً منها يمكن طرح مسألة طبيعة المعرفة العلمية، بل «عملاً» مُوَحِّداً، مثل كل عمل إبداعي، لحرية التخيّل والاستكشاف الدقيق والملزم للعالم الجديد من الإمكانات الذي يستتبعه الابتكار. ويمكننا حتى القول إن الفيزياء، الناشئة عن التواصل بين الابتكار النظري والتجربة، تحمل إلى درجة قصوى هذين الجانبين المتكاملين وهما الحرية والقسر. وتتجلّى قدرتها على الابتكار في خلق لغات جديدة، وبخاصة لغات رياضية تسمح بإدخال تمييزات لا تطالها اللغة الطبيعية. وهي لا تنفك تنتعش وتحيا من خلال اكتشاف ظاهرات غير متوقعة، تتحدّى الخيال، وتفرض على النظريات وعلى توقّعات الفيزيائيين اكتشاف حدودها. وكما سنرى فإن ذلك صحيح بشكل خاص بالنسبة لفيزياء القرن العشرين الذي كان بالنسبة للفيزيائيين قرن المفاجآت.

وضمن هذا المنظور، الذي يجعل من الفيزياء ليس نموذجاً، بل «سطحاً بينياً» ابتكارياً بين البشر وعالم الظاهرات، إنما نقع نحن. وسنحاول أن نبيّن كيف أن الفيزياء استطاعت اليوم ـ دون أن تُخلَّ بالإشراطات التي أكسبت الاستكشاف

الذي تقوده دقته ولزومه ـ خلق معان جديدة، وأسئلة جديدة تفتحها على التجربة البشرية للزمن التي كان برغسون يعتقد أنها نذرت للجهل. وسنحاول على مدى هذا البحث وصف ليس ولادة علم «آخر»، منقطع بشكل مؤثر عن التقليد الذي هو تقليده، بل تحوّل عميق لمثال المعقولية الذي يوجّه تطوّر هذا العلم كما وللقراءة التي يمكننا القيام بها لتقليده في الوقت نفسه.

لقد تميّزت أصول الفيزياء بإمكانية يتعذر تبسيطها لا ترجعنا فقط إلى تاريخ البشر، بل إلى الطبيعة أيضاً، وإلى الفعل الذي أعطته المعنى، وإلى حد معين إلى مُثل المعقولية التي كانت تسكن أولئك الذين ساءلوها. لنأخذ حركة الأرض حول الشمس. لقد ارتبط تاريخ فيزيائنا بواقع أن قوىٰ التجاذب بين الأرض والقمر والكواكب الأخرى يمكن إهمالها ضمن تقدير أولي، أي أن المسار الأرضي يمكن أن يستجيب لمثال منظومة من جسمين (الأرض ـ الشمس). ولو لم يكن الأمر على هذا النحو لما كانت السماء قدّمت للبشر مشهد الحركات الدورية المنتظمة الذي كان محرض علم الفلك الكلاسيكي. وربما كان علم احتمالي سينشأ مكان «الميكانيك السماوي» لكي يأخذ بعين الاعتبار تعقيد حركات الكواكب؟ وبالمثل فإن فيزياء غاليليه Galilée ترجعنا إلى واقع أننا نحيا في وسط غالباً ما تكون فيه قوىٰ الاحتكاك ضعيفة. أما لو كنّا قد عشنا في وسط أكثر كثافة، مثل الدلافين، لكان علم الحركات قد اتخذ شكلاً مختلفاً. ويمكن مضاعفة هذا النوع من الأمثلة؛ فنحن لا ندين بإبداع مخططاتنا النظرية الكبرى إلى ذكائنا وحده، بل وأيضاً إلى واقع أنه ثمة في هذا العالم المعقد «مواضيع» معينة تتفصل بشكل طبيعي وقد أسرت انتباه البشر وحرّضت تطور التقنيات وخلق لغات تجعل تناسقها معقولاً.

وتستطيع الفيزياء اليوم تجاوز الإمكانية التي سبقت ولادتها. ويمكننا الإعجاب ببساطة حركة الكواكب دون أن نؤخذ بها، لأننا أصبحنا في وضع أفضل حتى أننا نستطيع تحديد ميزتها الخاصة وشبه الفريدة. وهذا التحوّل في نظرة الفيزيائي هو ما نودّ وصفه في هذا البحث، لكي نتقاسم مع القارىء الشعور بأننا نحيا لحظة مميزة. وليست الفيزياء تفتح لنا فقط اليوم عالماً لم يعد غريباً على تجربتنا، وعلى معارفنا، وعلى تطبيقاتنا، بل إنها تسمح لنا أيضاً بفهم أفضل لماضيها، وللبساطة الفريدة للمواضيع التي قادت خطواتها الأولى، ولحدود مثال معقولية التقليد الفيزيائي.

منذ وضعنا مؤلفنا «الميثاق الجديد»، قدمنا لوحة لتاريخ الفيزياء متمحورة حول مسألة الزمن هذه. وقد بيّنّا كيف تحرّر خلال النصف الثاني من القرن التاسع عشر تصوّران كبيران للمستقبل الفيزيائي، وهما ناشئان بالتتالي من الديناميكا المولودة في القرن السابع عشر ومن الترموديناميك الذي يرجع إلى القرن التاسع عشر. وللغرابة كان هذان التصوران يوافقان رؤيتين متعارضتين للعالم الفيزيائي. فمن وجهة نظر الديناميكا كانت الصيرورة والأبدية تبدوان متطابقتين. وكما أن النواس المثالي ينوس حول وضعية توازنه كذلك تماماً كان العالم الذي تحكمه قوانين الديناميكا يتقلص إلى تأكيد مستمر على هويته الخاصة. وبالمقابل فإن الكون الترموديناميكي هو كون الانحلال، والتطوّر التدريجي نحو حالة توازن يحدّدها التماثل، وتسوية كل اختلاف. وفي هذا المنظور الثاني لم يعد النواس مثالياً، والاحتكاك ينذره نهائياً إلى ثبات الاستقرار.

كذا تتعارض الأبدية الديناميكية مع «المبدأ الثاني في الترموديناميك»، قانون الازدياد اللاعكوس للانتروبيا الذي وضعه رودولف كلاوزيوس Rudolf Clausius عام 1865؛ ومقابل تحديدية المسارات الديناميكية نجد التحديدية الصارمة أيضاً للسيرورات التي تعدّل اختلافات الضغط والحرارة والتركيز الكيميائي والتي تقود بشكل لاعكوس منظومة ترموديناميكية معزولة إلى حالة توازنها من الانتروبيا القصوى.

كنّا قد أشرنا إلى أي حد كانت فكرة تحديد نشاط ما من خلال التدمير الذي يقوم به للاتجانسات التي تولده، أي لشروط وجوده الخاصة به، وتحديده بالنتيجة كمنته بشكل نهائي إلى اختفائه الخاص، قد ميّزت القرن التاسع عشر بهمٍّ شبهَ متعلقٍ بالآخرة. إن عالمنا محكوم عليه بالموت الحراري. ومجتمعاتنا تستنفد مصادرها، فهي محكومة بالإنحطاط.

ومع ذلك سيكون من الخطأ الاعتقاد أن المبدأ الثاني في الترموديناميك كان فقط مصدر تشاؤم وغمّ. فبالنسبة لبعض الفيزيائيين، مثل ماكس بلانك Max Planck وبخاصة لودڤيك بولتزمان، كان أيضاً رمزاً لمنعطف حاسم. فقد بات بإمكان الفيزياء أخيراً وصف الطبيعة بعبارات الصيرورة؛ وكان سيمكنها على غرار العلوم الأخرى وصف عالم مفتوح على التاريخ.

وإنه لمن المدهش في الحقيقة أنه في الفترة التي كانت فيها الفيزياء، بفضل

المبدأ الثاني في الترموديناميك، تعلن النمو اللاعكوس حيث كان يبدو أن الأبدية هي السائدة، كانت العلوم والثقافة تكتشف في كل مكان القدرة الخلاقة للزمن. إنها الفترة التي أدركت فيها كافة سمات الثقافة البشرية، اللغات والديانات والتقنيات والمؤسسات السياسية والأحكام الأخلاقية والجمالية، أنها كنتاجات للتاريخ، وحيث بات التاريخ الإنساني يُقرأ كاكتشاف تدريجي للوسائل العقلية في ضبط العالم. وهذه الفترة هي التي عرّفتنا خلالها الجيولوجيا والباليونتولوجيا (علم الأحافير) أن أرضنا وكل ما كان يبدو الإطار الثابت لوجودنا، المحيطات والجبال والأنواع الحيّة، هي ثمرة تاريخ طويل تميّز بالدمار والخلق.

وبالنسبة للفيزيائي الڤييني الأصل لودڤيك بولتزمان كان القرن التاسع عشر «قرن داروين»، القرن الذي بيّن أن لاتغيّر الأنواع الحيّة لم يكن إلاّ ظاهرياً. ومع ذلك فإن اسم بولتزمان بالنسبة لغالبية الفيزيائيين يستدعي نجاحاً مناقضاً بشكل من الأشكال لنجاح داروين: فهو الذي بيّن أن اللاعكوسية لم تكن إلاّ ظاهرية تسود فوقها الأبدية اللامتغيرة لقوانين الديناميكا. إنها مأساة لودڤيك بولتزمان كلها التي حاولت في الفيزياء ما كان قد أنجزه داروين في البيولوجيا - إعطاء معنى لزمن التطور على مستوى الوصف الجوهري - للوصول إلى درب مسدود والرضوخ في النهاية أمام مقتضى الأبدية في الديناميكا.

لقد فرض التماثل نفسه رأساً بين مقاربة داروين ومقاربة بولتزمان. فداروين كان قد حوّل موضوع البيولوجيا، وبيّن أنه عندما ندرس «المجموعات» الحيّة وتاريخها، وليس بعد ذلك أفرادها، يمكننا أن نفهم كيف أن التنوّع الفردي الخاضع للاصطفاء يولد «اشتقاقاً» للنوع، وتحوّلاً تدريجياً لما يفرض نفسه كأمر معطى على سويات زمن الأفراد. وبالمثل، كان بولتزمان يحاول أن يبيّن أنه في مجموعة كبيرة من الجسيمات يمكن لأثر التصادمات أن يعطي معنى لنمو الإنتروبيا وبالتالي للاعكوسية الترموديناميكية.

في عام 1872 قدم بولتزمان نظريته الفخمة، «نظرية $\mathscr{H}$»[4]. ويترجم التابع $\mathscr{H}$ أثر التصادمات التي تغيّر في كل لحظة مواضع وسرعات جسيمات منظومة. وهو مبني بطريقة يتناقص فيها بشكل وحيد التغيّر خلال الزمن حتى بلوغ قيمة دنيا. وفي هذه اللحظة يتحقق توزّع لمواضع وليسرعات الجسيمات لن تغيّرها بعد ذلك التصادمات اللاحقة. كان بولتزمان قد بنى إذن نموذجاً صغرياً للتطوّر اللاعكوس

لجمهرة من الجسيمات باتجاه حالة توازن. والتصادمات بين الجسيمات تشكل الآلية التي تؤدي إلى الإختفاء التدريجي لكل «اختلاف» بدئي، أي لكل فارق بالنسبة للتوزع الاحصائي للتوازن.

سنعود في الفصل الثالث إلى التناقض الظاهري بين نظريتي داروين وبولتزمان. لقد أحلّت النظريتان بالتأكيد دراسة المجموعات محل دراسة الأفراد وأكدتا العلاقة بين التغيرات «الصغيرة» (تغيرية الأفراد، التصادمات الصغرية) والتطور الجماعي الموافق لمرحلة زمنية طويلة، إلاّ أن النظرية الأولى تحاول تفسير ظهور الأنواع المتأقلمة بحسب أنماط أكثر فأكثر تعقيداً واختلافاً عن بيئتها، في حين أن الثانية تصف تطوراً نحو التماثل والانتظام. وما نريد الإشارة إليه هنا هو ما شهده قدرا النظريتين من تباعد. لقد انتصر التطوّر الداروين عبر جدالات عنيفة بين البيولوجيين والإحصائيين، وعبر الانتقادات والصعوبات، وهو لا يزال يؤسّس اليوم نمطنا في فهم الكائنات الحية. وعلى العكس فقد رزح تفسير بولتزمان للاعكوسية أمام الانتقادات. وقد أرغم بولتزمان تدريجياً على الاعتراف بأنه لم ينجح بإعطاء تفسير صغري للاعكوسية. وهكذا فإن تطوراً «ترموديناميكياً مضاداً»، تنخفض الانتروبيا خلاله وتتجوف الإختلافات فيه آنياً بدلاً من أن تتوازن، ظلّ إمكانية فيزيائية بنفس درجة التطوّر الترموديناميكي الملاحظ.

كان الموقف الذي وجد بولتزمان نفسه في مواجهته موقفاً مأساوياً عميقاً. وكما سبق وقلنا، كان مقتنعاً بأن فهم الكون كان يعني فهمه في إطاره التاريخي، وأن اللاعكوسية المعرفة في المبدأ الثاني للترموديناميك كان لها إذن معنى جوهري. لكنه كان أيضاً وريث تقليد الديناميكا العظيم. وكان يكتشف أن هذا التقليد كان يحارب أية محاولة لإعطاء معنى جوهري لـ «سهم الزمن[5]».

وبالنظر إلى الماضي، فإن المأساة التي عاشها بولتزمان، وقسره على الاختيار بين حدسه للزمن وإخلاصه للتقليد الفيزيائي، تبدو لنا مؤلمة بشكل خاص. فمن جهة، بدا واقع أن محاولته كانت محكومة بالإخفاق، كان وبشكل إستعادي البداهة نفسها: ومنذ ذلك الحين فصاعداً ونحن كلنا نتعلم، منذ التعليم الأولي للفيزياء، أن مساراً ما ليس تحديدياً فقط، بل وعكوساً بشكل أساسي، وأنه لا يسمح بإقامة أي تفريق بين المستقبل والماضي؛ وكانت محاولة تفسير اللاعكوس بالعكوس في حينها تظهر كما لاحظ بوانكاريه[6] Poincaré كخطأ يكفي المنطق وحده لإدانته.

ولكن، من جهة أخرى، فإننا نفهم اليوم كيف أنه يمكن تجاوز هذا التعارض المنطقي الظاهري. بل إننا لنستطيع حتى أن نجيب على النقد المدين لنموذج بولتزمان، لكن هذه الإجابة تطلبت تحوّلاً جوهرياً لنمط التصوّر الديناميكي.

سنتناول هذه المسألة في الفصل الخامس. ونريد بشكل خاص أن نوضح هنا هذه المرحلة العصيبة والحاسمة من تاريخ الفيزياء، والتي كشف خلالها نمط التصوّر في الديناميكا الكلاسيكية عن متطلباته وتورطاته. كيف نفهم أن بولتزمان، مثل معظم معاصريه، استطاع أن يأمل بإعطاء معنى «ديناميكي» للاعكوسية؟ وكيف لم «يروا» منذ البداية ما يبدو لنا اليوم أكيداً: أن زمن الديناميكا لا يثبت فقط التسلسل المترابط التحديدي للأسباب والنتائج، بل وأيضاً التكافؤ الأساسي بين جهتي الزمن، الجهة التي نعرفها والتي تحدد مستقبلنا، وتلك التي نستطيع تخيّلها عندما نتمثل منظومه «ترجع» نحو ماضيها؟

ربما كان يجب أن نشير فوراً إلى الصفة شبه غير المعقولة لفكرة عكوسية الديناميكا هذه. لقد كانت مسألة الزمن دوماً ـ ما يحفظه ويخلقه ويدمره سيلانه ـ في مركز الاهتمامات البشرية. وقد أقحمت تأمّلات كثيرة فكرة التجدّد، وثبتت التسلسل المحتوم للأسباب والنتائج. وقد نفت معارف سرانية كثيرة واقعية هذا العالم المتغير والمتقلب، وعرّفت مثال وجود يسمح بالإفلات من ألم الحياة. ولدينا من جهة أخرى في العصور القديمة أهمية فكرة زمن دائري يرجع بشكل دوري إلى أصوله. لكن أبدية العودة نفسها معلمة بسهم الزمن، مثل إيقاع الفصول أو إيقاع الأجيال البشرية. إن أي تأمّل وأية معرفة لم تؤكد يوماً التكافؤ بين ما يتم وما ينتقض، بين نبتة تنمو وتزهر وتموت، ونبتة تنبعث وتعود لشبابها ثم إلى بذرتها الأولية، بين إنسان ينضج ويتعلم، وإنسان يصبح تدريجياً طفلاً ثم جنيناً ثم خلية.

ومع ذلك فإن الديناميكا منذ بداياتها، وهي النظرية الفيزيائية التي تتطابق مع نصر العلم نفسه، كانت تنطوي على هذا النفي الجذري للزمن. ذلكم ما كشفه إخفاق بولتزمان وما لم يتجرأ على الإعتراف به قبله أي من المفكرين، مثل لايبنيز Leibniz أو كانط Kant، الذين كانوا قد جعلوا من علم الحركة نموذج معقولية العالم.

إن استحالة تعريف اختلاف جوهري بين القبل والبعد، التي نُذرت لها الديناميكا، أمر ثابت بالنسبة لنا اليوم، لكنها كانت منذ البدايات مؤكدة ومخفية من

خلال مبدأ أصبح، مع أعمال غاليليه Galilée وهيغنز Huyghens ولايبنيز وأولر Euler ولاغرانج Lagrange، المبدأ نفسه لتكوين المفاهيم والتصورات conceptualisation في الديناميكا. وقد كرّس لايبنيز هذا المبدأ بعبارة «مبدأ السبب الكافي». وبحسب التعبير اللايبنيزي فإن هذا المبدأ يعلن «التكافؤ بين السبب الممتلىء والنتيجة الكاملة».

ومبدأ السبب الكافي لا يصف فقط عالماً تتبع فيه النتائج الأسباب، ولا حتى عالم يكون فيه تسلسل الأسباب والنتائج تحديدياً صارماً. ونعرف عدداً كبيراً من السيرورات السببية والتحديدية التي تناقض هذا المبدأ. كذا فإن «قانون فورييه Fourier» يصف سيرورة انتشار الحرارة ويحدد «سببها»: وهذا السبب هو اختلاف درجة الحرارة في النقاط التي يتم الانتشار بينها. وعندما تتوقف سيرورة انتشار الحرارة، فقد أنهى سببها الخاص؛ إذ أن كل اختلاف بدرجة الحرارة اختفى تدريجياً بين مختلف مناطق المنظومة. والنقطة الهامة هنا هي أن هذا الاختفاء لاعكوس. إن اختلاف درجات الحرارة الذي ولّد السيرورة والذي دمرته هذه السيرورة نفسها قد اختفى دون رجعة، دون أن يكون قد أنتج أثراً يمكنه السماح بإعادة بنائه.

إن التكافؤ بين السبب والنتيجة المؤيد بمبدأ السبب الكافي ينطوي على العكس على عكوسية الصلات بين ما يُفقد وما يُخلق. إن متحركاً نازلاً على مستوٍ مائل يفقد من ارتفاعه، لكنه يكتسب سرعة هي السرعة (بغياب الاحتكاك) التي ستكون ضرورية له ليرجع فيصعد إلى ارتفاعه البدئي. وهذه المحاكمة هي التي قادت غاليليه إلى صياغة قانون سقوط الأجسام، وهو الذي عمّمه هيغنز، مطابقاً بين مصطلحي المساواة «السبب» و«النتيجة»: ما يربحه جسم من السقوط عبر فرق ارتفاع h لا يقاس بسرعته بل بمربع سرعته (نكتب اليوم $mgh=mv^2/2$، حيث m كتلة الجسم وh الارتفاع وg تسارع الجاذبية وv السرعة). وقد عرف لايبنيز أن يقرأ في هذه المساواة بين السبب والنتيجة خيط آريان الديناميكا الوليدة.

وقد أيّد تاريخ علم الحركات منذ غاليليه وحتى لاغرانج وهاميلتون Hamilton طرح لايبنيز. وهكذا قاد مبدأ السبب الكافي بنجاح خلق لغات ديناميكية أكثر فأكثر مقدرة. وإنما به اصطدم بولتزمان، وهو الذي أدان محاولته لفهم اللاتماثل الزمني للسيرورات الترموديناميكية بعبارات ديناميكية. وفي الواقع كان أحد التفنيدات

الحاسمة لمحاولة بولتزمان هو الدحض الذي قدمه لوشميدت Loschmidt فيما يتعلق بعكس السرعات. فلنتخيل أن السرعات التي تحرك في لحظة معطاة عناصر منظومة انعكست كلها في آن واحد. في هذه الحالة، تماماً كالمتحرك الغاليلي على مستواه المنحدر يعود ليبلغ ارتفاعه الأصلي، فإن تطوّر المنظومة الديناميكية ستعيدها نحو حالتها البدئية. وستعيد التصادمات عندها خلق ما كانت التصادمات قد دمرته، وسترمِّم الإختلافات التي كانت قد عُدِّلت. كذا فإن التطور الذي تولده التصادمات ليس لاعكوسياً إلاّ بشكل ظاهري. فبدءاً من حالة ابتدائية مختلفة يجب أن تستطيع التصادمات إعادة خلق ما كانت قد دمرته التصادمات التي بسطها بولتزمان.

كان بولتزمان قد أراد فهم اللاعكوسية الترموديناميكية بعبارات ديناميكة، لكن المبدأ المؤسِّس للميكانيكا أفشل محاولته وأرغمه على الاستنتاج أنه بعد تمحيص أخير لا يمكن نسب أي امتياز للتطورات التي تزيد الانتروبيا. فلكل تطور ديناميكي موافق لزيادة في الانتروبيا، تسمح المساواة بين السبب الممتلىء والنتيجة الكاملة بمطابقة التطور المعاكس الذي سيجعل الانتروبيا تتناقص: إنه التطور الذي سيعيد بناء «الأسباب» باستهلاك «النتائج».

ومع ذلك فإن الحجج التي أدانت محاولة بولتزمان تتكشف اليوم على أنها أقل إقناعاً. فما هو السبب «الممتلىء»، وما هي النتيجة «الكاملة» بالنسبة للفيزيائي، وإلى من هم أبعد منه، بالنسبة لكل كائن يعود أصل معرفته للعالم إلى ملاحظات أو قياسات يُعبر عنها بالأرقام؛ لقد اكتسب هذا التساؤل كل معناه مع اكتشاف المنظومات الديناميكية غير المستقرة.

سنعود إلى هذا التطور الحديث للديناميكا في الفصول التالية. ولنكتفِ هنا بالإشارة إلى أن الدرب فتحت منذ الآن فصاعداً لاسترجاع محاولة بولتزمان. وكما سنرى، فإنه يوجد بالنسبة لمنظومات غير مستقرة بشكل كاف، «أفق زمني» لا يمكن إلى ما ورائه نسب أي مسار محدد لها. فلكل حالة بدئية محددة بدقة معطاة ومنتهية يوافق زمن تطور لا يمكننا ابتداء منه التحدث عن المنظومة إلاّ بعبارات الاحتمالات. كذا فإن اللاإستقرارية الديناميكية تستتبع تحديداً لمفهوم المسار يبطل تفنيد لوشميدت ضد بولتزمان، ويسمح ـ سنعود إلى هذه النقطة ـ بتحديد الإختلاف الجوهري، الذي حاول بولتزمان صياغته دون جدوى ـ بين التطورات التي تقود منظومة نحو التوازن وتلك التي تبعدها عنه.

لنعد الآن إلى الموقف الذي كان على بولتزمان مواجهته مرغماً على الاختيار بين انفتاح الفيزياء على الزمانية Temporalité وإخلاصه للديناميكا التي كان يكتشف إشراطاتها. وقد اختار الإخلاص. وهكذا فقد أحلّ محل التفسير الديناميكي للمبدأ الثاني تفسيراً احتمالياً.

ستتاح لنا فرصة العودة إلى مفهوم الاحتمال. ولنشر هنا إلى أن الاحتمالات التي أدخلها بولتزمان ترجع لنقص المعلومات لدينا. وفي الحقيقة كان بولتزمان يفكر بمنظومات معقدة مؤلفة من مليارات مليارات الجزيئات المتحركة. وتطور مثل هذه المنظومة لا يمكن بالتأكيد أن يستنتج من معادلات الديناميكا، ومن الطبيعي الإفتراض أن كافة الحالات الديناميكية الممكنة لها قبلياً الاحتمال نفسه. وبقبول هذا الافتراض يصبح بالإمكان عدّ الحالات الديناميكية التي توافق كل وضع كبري.

لنتخيّل مثلاً حجيرة يقسمها حاجز إلى نصفين وقد امتلأت بجزيئات متحركة تمثل غازاً. توافق الملاحظة هنا قياس الضغط في كل قسم وبالتالي عدد الجزيئات التي يتضمنها كل قسم منهما. ولنفرض أنه في اللحظة البدئية كان القسم الأيسر خالياً في حين كان القسم الأيمن يحوي كل الجزيئات. ولنفتح ثقباً في الحاجز. فماذا يمكننا أن نتوقع؟ من بين كافة الوضعيات الملاحظة فإن وضعية واحدة تتحقق عبر الغالبية العظمى من الحالات الديناميكية الممكنة قبلياً: إنه توازن الضغوط، الوضعية التي يوجد فيها نفس عدد الجزيئات في كل قسم. يمكننا إذن الإستنتاج أنه من بين كافة التطورات الديناميكية الممكنة قبلياً فإن العدد الأعظم منها سيصل إلى هذه الحالة النهائية. وعندما يتم بلوغ هذه الحالة، التي تكون أكثر احتمالاً كلما كان عدد الجزيئات أكبر، فإن الجزيئات تستمر باجتياز الثقب إنما بشكل متوسط بحيث يتساوى عددها المنتقل في الإتجاهين. وهكذا يبقى توزع الجسيمات بين الحجيرتين متسقاً، بتموجات متقاربة. إن «إعادة خلق» متزامنة لاختلاف في الضغط بين الحجيرتين، والتي بإبعادها للمنظومة عن حالة التوازن، ستوافق تطوراً متناقص الانتروبيا، لن تكون مستحيلة في هذه الشروط لكنها ستكون غير محتملة أكثر كلما كان عدد الجزيئات أكبر.

يُرجع إذن التفسير الإحتمالي لبولتزمان اللاعكوسية التي نلحظها للصفة الخشنة «العيانية» لمراقباتنا: فالذي يستطيع تتبّع حركة كل جسيم سيصف منظومة عكوسة؛ فلأننا لا نأخذ بعين الاعتبار سوى العدد الوسطي للجزيئات الذي يقيسه

الضغط في كل حجيرة إنما نصف منظومة متطورة بشكل لاعكوس نحو توازن الضغوط. ومن جهة أخرى، وبحسب هذا التفسير، فإن لاعكوسية السيرورات التي نراقبها حولنا ترجع إلى أمر واقع: فالواقع أن العالم ليس متسقاً، ليس في وضعه «الأكثر احتمالاً». إننا نعيش في عالم «غير محتمل»، وسهم الزمن، وهو إمكانية تحديد اختلاف بين القبل والبعد، ليس شيئاً آخر سوى نتيجة هذا الواقع. إن ما ندعوه «الطبيعة»، مجموعة السيرورات المتشابكة التي تتقاسم معنا المصير نفسه، بدءاً من السكر الذي كان برغسون يقول إنه يجب انتظار ذوبانه، حتى النبتة التي تنمو أو الطير الذي يطير، ليست سوى الترجمة للاختفاء التدريجي لهذا التباعد عن التوازن.

لكن كيف نفسر هذا الانحراف عن التوازن الذي ندين نحن أنفسنا والطبيعة بوجودنا له؟ كتب بولتزمان يقول: «إن لدينا الخيار بين نمطي تمثيل. فإما أن نفترض بأن الكون كله هو في اللحظة الراهنة في حالة غير محتملة. أو أن نطرح فرضية أن الإيونات التي تقيس فترة هذه الحالة اللامحتملة، وأن المسافة من الأرض إلى سيريوس Sirius (الشعرى اليمانية)، صغيرتان جداً مقارنة بعمر الكون وباتساع الكون كله. وفي مثل هذا الكون، المتوازن حرارياً بمجموعه والميت بالتالي، فإن مناطق صغيرة نسبياً بحجم مجرتنا ستتواجد هنا وهناك، مناطق (يمكننا أن نسميها «عوالم») تنحرف بشكل كبير عن التوازن الحراري خلال قطاعات قصيرة نسبياً من «إيونات» الزمن هذه. وسيوجد بين هذه العوالم عوالم حالاتها ذات احتمالية (أي انتروبية) متزايدة، وذلك بالقدر نفسه الذي توجد فيه عوالم أخرى لحالاتها إحتماليات متناقصة. وهكذا لا يمكن في قلب الكون بكليته تمييز إتجاهَي الزمن، تماماً كما أنه ليس في الفراغ أعلى أو أسفل... ويبدو لي أن هذه الطريقة في اعتبار الأشياء هي الطريقة الوحيدة التي تسمح لنا بفهم مصداقية القانون الثاني والموت الحراري لكل عالم فردي دون التمسك بتحوّل وحيد الإتجاه للكون كله من حالة بدئية محددة إلى حالة نهائية[7].

تلكم هي إذن النتيجة التي أرغم بولتزمان في النهاية على الإقرار بها. وفي حين كان قد أراد تفسير لاعكوسية الزمن بمصطلحات القوانين الأساسية، وادخال الفيزياء إلى حقل العلوم التي كانت تكتشف التاريخ، فقد توصل إلى إرجاع الزمن إلى واقع محتمل: فالعالم الذي نلاحظه ليس سوى تموّج محلي في كون يجهل

بشموليته اتجاه الزمن؛ وفي مناطق أخرى من الكون، وهي إحصائياً كثيرة بقدر المناطق التي تقاسمنا سهمنا الزمني، تكون الانتروبيا متناقصة.

ترى هل بإمكاننا أن نتخيل فقط هذه العوالم الأخرى؟ إن مفهوم الاحتمالية لن يكون قابلاً للاستخدام فيها، على الأقل من أجل التنبؤ «بالمستقبل»: فالإختلافات ستتفرغ آنياً، وستتباعد المنظومات بذاتها عن التوازن، وستكون القاعدة ما هو بالنسبة لنا إعجاز إحصائي[8]. ومن جهة أخرى كيف نفسر أننا لا نصادف في عالمنا أنماطاً أخرى من التموّجات التي تعطي للمناطق التي تشغلها سهماً زمنياً معاكساً لسهمنا؟ لماذا يحدّد سهم زمني وحيد الكون المنظور كله؟

تُظهر هذه الأسئلة في أيامنا هذه الحل الذي اقترحه بولتزمان كحل خارق أكثر ممّا كان يبدو في عصره. ففي نهاية القرن التاسع عشر كانت الأرصاد الفلكية محصورة بمجرتنا. ونعرف اليوم أن «المنطقة الصغرية» التموجية التي مثلها بولتزمان كان يجب أن تتضمن مليارات المجرات، كل المجرات التي نستطيع رصدها اليوم والتي نعلم أنها تقاسمنا سهمنا الزمني. إضافة إلى ذلك، فإن اكتشاف هبل Hubble، الذي تتباعد وفقه المجرات عن بعضها بعضاً بسرعة متناسبة مع مسافتها، واكتشاف بنزياس Penzias وويلسن Wilson للإشعاع المتجانس وموحّد الخواص للجسم الأسود والذي يغمر كوننا، إقترنا ليفرضا علينا تاريخاً عاماً للكون يتميز بأصل يرجع إلى نحو خمسة عشر مليار سنة. فكيف نفهم عندها أن الكون في مجموعه يكون قد ولد «بعيداً عن التوازن»؟

سنعود إلى مختلف هذه الأسئلة في الفصول التالية. والأمر الأساسي في هذا الفصل كان الإجابة على سؤال طرح فيما يتعلق بـ «التطوّر المبدع»: لماذا انبثقت مسألة الزمن العلمي في بداية القرن العشرين من قلب الحوار بين العلم والفلسفة؟ إن نقد برغسون يتوجه إلى فيزياء لم تعد العلم الذي حاول بولتزمان فتحه على مسألة التطور. وفي الواقع فإن ورثة بولتزمان حوّلوا إلى نصر ما كان بولتزمان نفسه قد عاشه كإخفاق مأساوي. لقد أصبح نفي لاعكوسية الزمن، الذي كان بالنسبة لبولتزمان حلاً يائساً، وبالنسبة لمعظم فيزيائيي جيل أينشتاين، الرمز نفسه لما كان بالنسبة لهم نزعة الفيزياء ودعوتها: ألا وهي بلوغ حقيقة معقولة لازمنية إلى ما وراء الواقع المراقب.

كان أينشتاين أفضل من جسد المثال الذي يحدد هذه الدعوة الجديدة

للفيزياء، مثال معرفة يعري منظورنا للعالم ممّا لم يكن في نظره سوى علامة الذاتية الإنسانية. كان دائماً طموح بعض الممارسات السرانية الإفلات من قيود الحياة، وآلام وإخفاقات عالم متغير وموهم. وقد جعل أينشتاين بمعنى معين من هذا الطموح قدر الفيزيائي نفسه، وبذلك فقد ترجمه إلى عبارات علمية. كان السرانيون يحاولون «عيش» هذا العالم كوهم، أما أينشتاين فقد سعى إلى «إثبات» أنه ليس سوى وهم، وأن الحقيقة هي كون شفاف ومعقول، مطهر من كل ما يضر بحياة البشر، الذاكرة المحزنة أو المؤلمة للماضي، والخوف من المستقبل أو الأمل به[9].

وكما كان الأمر في عهد بولتزمان فإننا اليوم عند تقاطع طرق. والخيار بالنسبة لنا لا يقع حيث كان برغسون قد وضعه، إذ أنه لا يفرض علينا الإختيار بين مسيرة تنطلق من «تجربتنا الحميمة» ومسيرة ترتبط بالظاهرات القابلة للحساب وللتناسخ. بل ربما كان هذا الخيار أكثر جذرية. وفي الحقيقة فإن علماً يحاول إبتداء من «واقع» معقول إنما غير زمني إعادة بناء الحقيقة الموضوعية للظاهرات لن يستطيع بالتأكيد فهم «التجربة الحميمة للزمن» عند برغسون. بل إن مثل هذا العالم غير قادر بالمثل على إعطاء معنى لمجموع المعارف ولتطبيقات الحساب والمعالجة والذي كان برغسون يواجهه بهذه التجربة الحميمة. إن العالم المعرى من اللاعكوسية الزمنية، من التمييز بين قبل وبعد، هو عالم يفقد فيه حتى العلم الذي أدانه برغسون كل معنى.

إما الحكم على العالم باسم مثال مكرّس لجعله موهماً، أو محاولة بناء معرفة دائمة تعطي معنى للتمييزات وللمسائل التي تطرحها علينا إبتداء من تجربتنا لهذا العالم، ذلكم هو الخيار الذي يتخذ هذا النص موقفاً بالنسبة له. ولكن قبل أن نلج إلى اكتشاف وجهات نظر جديدة تسمح لنا بإدخال الفيزياء إلى الدرب التي كان بولتزمان قد تصورها، لنتوقف قليلاً عبر مساحة فصل عند هذا القدر الغريب للفيزياء الذي سحر منذ بداياته الذين أبدعوها أنفسهم وألهمهم هذا التصور الخادع بإمكان الوصول إلى نمط المعرفة الذي كان الله ليملكه عن العالم.

الفصل الثاني

حول الآلهة والبشر

ربما كان أحد الآثار الأكثر إدهاشاً في قصة بولتزمان أن النتيجة التي أرغم عليها - أن اللاعكوسية لا ترجع إلى القوانين الأساسية للطبيعة بل إلى طريقتنا الفظّة والعيانية في وصفها - لم تحرض أزمة في عالم الفيزياء. ويصدمنا بشكل خاص التعارض مع الترحيب الذي خصّص بعد بضعة سنوات إلى نظرية النسبية لأينشتاين. وفي حين أن الثانية كانت تشق طريقها لتشكل حدثاً ثقافياً كبيراً، مثيرة الانفعالات والتساؤلات والبلبلة، فإن الأولى لم تلاق الإخفاقات في البداية إلاّ بين الفيزيائيين. وإضافة إلى ذلك فقد رأى معظم هؤلاء فيها عملاً مميّزاً بالتأكيد، إنما لم يحمل ما هو ثوري.

أما النظرية النسبية فكانت تنفي مفهوماً لا يلعب، حاصل الكلام، سوى دوراً ثانوياً في حياة البشر، وهو مفهوم التزامن المطلق بين حدثين متباعدين. حتى أنه من المميّز أن هذا المفهوم في عصر أينشتاين كان قد دخل لتوّه في التطبيقات والممارسات الإنسانية. فحتى ذلك الوقت كان مشهد السماء وحده، والأوضاع النسبية للشمس والقمر والكواكب، ما يعطي للراصدين الفلكيين والبحريين وسيلة لمواقتة الزمن في أماكن مختلفة. ومع اختراع التلغراف والتخلي في نهاية القرن التاسع عشر عن الساعات المحلية لصالح ساعة مشتركة عند خط نصف النهار في

غرينويتش Greenwich، كـان الناس يبـدأون لتوهم فقط تجـربة عـالم يعيش الزمن الموحَّد. وبالمقابل فإن فكرة تمييز بين القبل والبعد تشكل جزءاً عند هذه النقطة من تجربتنا التي لا نستطيع حتى وصفهـا دون أن نفترض مسبقاً هذا الإختـلاف. ولهذا كان يجب دون ريب كما كنا قد أشرنا، لكي يقـرأ الفيزيـائيون في معـادلاتهم النفي الـذي كـانت تحمله الـديناميكـا، أن تقسـرهم على ذلـك مسألـة السيـرورات اللاعكوسة.

كيف نفهم مذاك أن إخفاق بولتزمان، ونفي سهم الزمن الناجم عنه، لم يطبعا ذاكـرتنا بنفس الأثـر الذي تـركه كـل من النسبية والميكـانيـك الكمـومي؟ وأن هـذا الإخفاق لم يُدرك كـأول الأزمات الكبـرى التي ميّزت ولادة الفيـزياء المعـاصرة؟ إن هذا السؤال يستتبع دراسة تاريخيـة معمقة. ولنكتفي بـالتذكيـر أن اكتشاف استحـالة إعطاء معنى لسهم الزمن في إطـار الدينـاميكا ظهـر على أنه التعبيـر لما كـانت هذه النـظرية تتضمنـه بـالفعـل منـذ أن وجـدت، وليس كـ «ثـورة». وبهـذا المعنى إنمـا يستعمله برغسون: فهو ليس بحاجة حتى إلى الإستشهاد ببـولتزمـان، طالمـا أن هذا الأخير لم يقم إلاّ بتوضيح ما كان الحقيقة الجوهرية للفيزياء.

لكن يجب أن نوسّع حقل هذا السؤال. لقد قلنا إن بولتزمان اختار الإخـلاص لتقليـد الـدينـاميكـا وضحّى من أجله بحـدس الصفـة التـطوريـة للعـالم. فلم تكن الديناميكا بالنسبة له إذن، ولا بالنسبة لورثته الذين أيّدوا قراره، لغة علمية بين لغات أخرى تسمح بالتنبؤ وبحساب حركة الكواكب أو القذائف بنجاح. كانت الـديناميكـا تتمتع بحظوة كافية للتغلب على بداهة الزمن ـ ليس فقط البداهة الناجمة عن تجربتنا الذاتية، بل وأيضاً عن تلك التي تفرضها مجموعة السيرورات التي تشكل الطبيعة.

إن تاريخ الفيزياء لا يتقلص إلى تاريخ تطور الشكلانيـات والتجارب، بـل إنه لا ينفصل عمّا ندعوه عادة الآراء «الإيديولوجية». وفي الواقع فإن خيار بولتزمان إنمـا يعيـدنا إلى تـاريخ الفيـزياء نفسـه في صـدر ثقـافتنـا، وبشكـل خـاص إلى المعنى الإستثنائي الفكري والنظري الذي منح له منذ بداياته.

ومن هذا المنظور ربما كانت قراءة «اسم الزهرة» لأمبرتـو إكو Eco Umberto تفيدنا أكثر، بخصوص أصالة العلم الذي ولد في أوروبا منذ أقـل من أربعة قـرون، من كثير من الأبحاث الإبيستمولوجية. فهذه الـرواية تغـوض بنا في الـواقع في قلب «الغليان الثقافي» في نهاية العصور الوسطى. وكما سنرى، فإن الفيـزيائيين يصفـون

اليوم نظاماً تدومياً من خلال الحمل الطويل للصلات التي تجعل من كل نقطة من الوسط التدومي حساسة لما ينتج في نقاط أخرى. وبطريقة مماثلة إلى حد ما يبين لنا إكو التضمنات بعيدة المدى للمسائل التي كانت تحث الفكر في العصور الوسطى. ماذا يمكننا أن نعرف عن العالم؟ ماذا يعلمنا إسم؟ هل بإمكان معرفة عامة أن تعطينا حقيقة فرد ما؟ وهل يمكن للبحث عن معالم أن يكون كافياً لإرشادنا في لابيرنث الظاهرات؟ وهو يذكرنا أن مثل هذه المسائل كانت توقظ حالات طنين في مجالات جدّ مختلفة، من السياسة إلى الأخلاق إلى الجماليات إلى الدين والعكس بالعكس.

إن أحداً لا يدهش من أن ماضي الجيولوجيا وماضي البيولوجيا أو علم الفلك كان قد طبع وتميز بصلته مع ما كان الدين يعرّفه كعرفان موحى. إن موقع الأرض في العالم، وعمرها، وظهور الكائنات الحية، وهوية الإنسان نفسه، كل ذلك كان يفضي إلى فعل الله الخالق قبل أن يصبح مواضيع بحث علمي. بل إنه لمن المثير أكثر الإستنتاج أن مسألة تقنية ظاهرياً، مثل مسألة معرفة إذا كان الاصطدام بين جسمين يجب أن يفهم إنطلاقاً من مرونتهما، أو على العكس إبتداء من صلابتهما، قد أمكن ربطها مع مسألة دور الله أو الحرية الإنسانية.

ومع ذلك فهذا ما تبيّنه المراسلة الشهيرة بين لايبنيز وكلارك Clarke، لسان حال نيوتن Newton. ويجمع تبادل الرسائل هذا[1] الذي بدأ عام 1715 وانتهى بموت لايبنيز، وذلك بشكل مبهم سجلات سيحاول كل إيبستمولوجي جاد أن يبقيها منفصلة. ففي النظرية السياسية: من هو الأمير الأفضل، ذلك الذي نظم أتباعه بما يكفي لكي لا يتدخل، أو على العكس ذاك الذي لا ينفك يتدخل؟ وفي اللاهوت: كيف نفهم الأعجوبة؟ كيف نميز التدخلات الحالية لله في عالم مجموع الأحداث الناجمة عن الفعل البدئي للخلق؟ وفي الأخلاق: هل أن الفعل الحر هو فعل دون دافع أو القابل لاتخاذ القرار ضد أقوى الدوافع، أم أنه يتبع دوماً الميل الأقوى، حتى وإن لم نكن واعين لكل الدوافع التي تشدنا إلى هذا الاختيار أو ذاك؟ وفي علم الكونيات: بأي معنى يكون الفضاء لانهائياً؟ هل كان العالم قد خلق في لحظة معطاة أم أن الزمن متعلق بوجود العالم؟ وفي الفيزياء: هل أن «القوى الفعالة» (ما ندعوه اليوم بالطاقة الحركية والكامنة) تتناقص بنفسها أم أنها تنحفظ؟ وعندما يصطدم جسمان ليّنان ويتثبتان، فهل تدمر «قوتهما»، أم أن الأمر يتعلق فقط بالظاهر

وتكون القوة قد انحلّت في الحقيقة في الأجزاء الدقيقة للجسمين؟

وقد أقام لايبنيز وكلارك بين كل هذه الأسئلة صلات. فكلها تـدور في الواقـع كما يشير إلى ذلك صاحبي الرسائل حول الرهان نفسه: مدى ومصداقية مبدأ السبب الكافي الذي أراده لايبنيز بلا حـدود وحاول كـلارك تقليصه لمجـرد التحويـل الآلي البحت فقط للحركة (باستثناء حتى التسارعات المرتبطة بقوىٰ التفاعل النيوتونية).

وإننا لنفاجأ عند قراءة هذه النصوص إذ نستنتج إلى أي حـد لم يكن نيوتن، الـذي كان يتحكم عن قرب بتقديم فكره على يد كلارك، «نيوتونياً». كان لايبنيز هو الـذي يدافع عمّا ندعوه «الرؤية النيوتونية» للعالم. وكان نيوتن وكلارك يؤكدان أن كل فعـل يعطي حركـة جديـدة. حركـة لم تكن موجـودة سابقـاً ولا يمكن أن تفهم إبتداء من إنحفـاظ السبب في النتيجة[2]. يتحـدث لايبنيز عن عـالم في «حركـة دائمـة»، عن عالم تتوالد فيه بـاستمرار الأسبـاب والنتائـج من بعضها بعضـاً دون أن نستطيـع أبداً القول إن الكون تلقّى قوّة جديـدة، أي أن جسماً ربـح قوّة دون أن يفقـد جسم آخر قوّة مماثلة. ويتحدث نيوتن ـ كلارك عن الطبيعة كما لو عن «عامـل دائم»، ويقولان إنها مرتعدة بقوّة تسمو بها، ويستذكران قوىٰ تفاعـل لا تخضع لقـانون انحفـاظ إنما تترجم الفعل المستمر لله، الخالق الفعلي لعالم لا ينفك يغذي نشاطه.

إن فكرة أن الكون ككلية يفلت من آفات الصيـرورة والمستقبل ليست بـذاتها فكرة جديدة. ونجدها بخاصة عند جيـوردانو بـرونو Giordano Bruno، حيث أنهـا مرادف للكمال اللامحدود: «الكون إذن عبارة عن لامنتـه ومستقر. . . إنـه لا يتحرك بحركة محلية، إذ ليس ثمة ما يوجد خارجه بحيث يستطيع أن يتجه نحوه، طالما أنه معروف أنه الكل. إنه لا يولد نفسه، لأنه ليس ثمة أي شيء آخر يمكن أن يرغبه أو يبحث عنه، بما هو معروف أنه يحتوي كل الكائنات. إنه غير قابـل للفساد، طـالما أن لا شيء يـوجد خـارجاً عنـه ويستطيـع أن يتحول إليـه، بما هـو معروف أنـه كل شيء. إنه لا يستطيع أن ينقص أو يزيـد، بما هـو معروف أنـه لانهائي. . . وإنـه لا يمكن إفساده بأية طريقة، طالما أن ليس ثمة شيء خارجي يمكن بواسطته أن يعاني ويمكن أن يتأثر به[3]».

ومع ذلك فإن الكون كما يصفه برونو هنا هو كون مدرك بطريقة سلبيـة بحتة: فلا شيء، ممّا هو قابل للتأثير بكائن منتـه لا يمكنه التـأثير بـه. وعلى العكس، فإن لايبنيز وكلارك يتوصلان إلى محورة حججهما فيما يخصّ الكون حول مسألة معرفـة

إذا كان مراقب أفضل تجهيزاً منا سيستطيع أن يجد في الأجزاء الدقيقة من الأجسام الحركة التي تبدو وقد ضاعت أثناء تصادم. وتلكم هي خصوصية الفيزياء كما لا نزال نعرفها اليوم: فالحوارات من النمط «الميتافيزيائي» لا تتطابق عشوائياً مع أسئلة علمية حصراً، بل ترتبط بهذه الأخيرة بشكل حاسم. إن إمكانية مثل هذا القياس، مثل هذه التجربة، حتى وإن كانت فكرية، قابلة لترميز ولإثبات رهانات الفكر الأكثر اتساعاً والأكثر طموحاً. فإذا كانت التصادمات هي فرصة «فقدان» للقوة، فإن شيئاً جديداً كان سينتج في الطبيعة، كما كان يؤكد نيوتن وكلارك ضد لايبنيز. وإذا قمنا بتجربة فكرية وعكسنا آنياً سرعات جزيئات غاز فإنه سيرجع باتجاه ماضيه، وبالتالي فإن سهم الزمن ليس سوى وهم كما كان على بولتزمان أن يعترف. وفي الحالة التي أمكن فيها لأينشتاين أن يقترح على بور Bohr تجربة فكرية يمكن فيها قياس الموضع والسرعة بشكل متزامن، فإن بنية المعادلات الكمومية والتضمينات الفلسفية التي كان ينسبها بور لها هي التي كان عليها أن تنقلب دفعة واحدة.

لقد قارن ماكس جامر Max Jammer الحوارات بين بور وأينشتاين مع مراسلات لايبنيز وكلارك: «في الحالتين كان اصطدام منظورين فلسفيين متعارضين تماماً فيما يخصّ المسائل الجوهرية في الفيزياء؛ وفي الحالتين كان تصادماً بين اثنين من أكبر مفكري عصرهما؛ وكما أن المراسلة الفخمة بين لايبنيز وكلارك (1715 - 1716) ـ التي يمكن أن تكون أروع صرح نملكه ممّا لدينا من جدالات أدبية» (بحسب فولتير Voltaire) ـ لم تكن سوى تجلٍّ موجز للاختلاف العميق في الآراء بين نيوتن ولايبنيز، فإن الحوارات بين بور وأينشتاين في قاعة فندق المتروبول Métropole في بروكسيل Bruxelles كانت مجرد نقطة الأوج لحوار استمرّ خلال سنوات عديدة حتى وإن لم يكن بشكل حوار مباشر. وفي الحقيقة استمرّ هذا الحوار حتى بعد موت أينشتاين (18 نيسان 1955). وذلك أن بور صرّح في عدة مناسبات أنه كان يستمر فكرياً بالنقاش مع أينشتاين وأنه كان في كل مرة يفكر فيها بمسألة فيزيائية جوهرية يتساءل كيف كان أينشتاين سينظر لها. وكان آخر رسم لبور على اللوح الأسود في مكتبه بقصر كارلسبرغ Carlsberg، والذي رسمه الليلة السابقة لوفاته في 18 تشرين ثاني 1962، مخطط حجرة الفوتونات لأينشتاين المرتبطة بإحدى المسائل الكبرى التي نشأت أثناء حواره مع أينشتين[4]».

وغالباً ما يتم التساؤل عن التأثيرات الثقافية التي ميّزت فكر أينشتاين أو فكر

بور والتي بإمكانها أن تفسر اختلافهما. ولكن إلى ما وراء هذه الإختلافات، فإن انفعال حواراتهما، والمغزى العاطفي والفكري الذي كانا يربطانه كلاهما بمسألة معرفة أي نمط ولوج إنما تفتح الفيزياء على الحقيقة، يجعلان منهما سليلي هذا الغيوم دو بسكرفيل Guillaume de Baskerville الذي أبدع شخصيته أمبرتو إكو. يمكننا دون شك التحدث عن عقلية علمية «عالمية»، لكن الإرث الغربي بنوع خاص يحرص ربما على أن العلوم لم تتطور بها فقط كلعبة فكرية أو كمصدر لتطبيقات ضرورية، بل كبحث شغوف بالحقيقة. وأياً كانت التحفظات الإبستمولوجية التي بإمكاننا إحاطة هذا الموضوع بها، وأياً كانت المعاملات التي تقود إلى جعل مداه نسبياً (البحث عن السلطة، عن الهيبة، عن القدرة الاقتصادية، إلخ، . . .)، فإن واقعاً تاريخياً يبقى قائماً: ألا وهو أن العلم المولود في الغرب ما كان ليكون على ما هو عليه لو لم يكن قد تيقن بأنه يفتح الطريق إلى عقلنة للعالم. وإلى ما وراء تعارضهما، كان بور وأينشتاين ينتميان للثقافة نفسها، والتي انبثق عنها أيضاً «الميثاق الجديد»، كما والتي تضم إلى ما وراء الاختلافات مثل جاك مونود Jacques Monod ورنيه ثوم René Thom وبرنارد' اسبانيا Bernard d'Espagnat. وقبول هذا التقليد، وتضمين المعنى الذي يوليه للعلم، والعلاقات الوثيقة والصعبة في آن ممّا يجعل العلم في موقف الحوار مع الفلسفة، لا يعني التأكيد على أن هذا التقليد متفوق على التقاليد الأخرى، بل التعرّف عليه كإرث يحدّد موقعنا.

ماذا يعني إذن أن نفهم العالم؟ يتذكر هايزنبرغ Heisenberg في مذكراته زيارة لقصر كرونبرغ krönberg برفقة بور، وتأمّلاً لهذا الأخير: «أليس غريباً أن هذا القصر يصبح قصراً مختلفاً تماماً ما أن نتصور أن هاملت عاش فيه؟ إننا كرجال علم نعتقد أن القصر يتألف فقط من حجارته، ونعجب بالطريقة التي جمع بها المهندس هذه الحجارة. إن الحجارة والسقف الأخضر مع أكسيد البرونز الزنجاري والأخشاب المحفورة في الكنيسة، كل ذلك يشكل القصر. ولا شيء من هذا كله يجب أن يتغير من خلال واقع أن هاملت عاش هنا، ومع ذلك فقد تغيّر كل شيء. فجأة تحدثت الجدران والأسوار لغة مختلفة كل الاختلاف. . . ومع ذلك فإن كل ما نعرفه عن هاملت فعلاً هو واقع أن اسمه يظهر في مسرد تاريخي للقرن الثالث عشر. . . لكن كل منا يعرف الأسئلة التي جعله شكسبير Shakespeare يطرحها، والأعماق الإنسانية التي حُمِّل بها ليكشفها؛ كذا فإنه هو أيضاً يجب أن يجد مكاناً على الأرض، هنا في كرونبرغ[5]».

فكيف لا نتعرف في هذا التأمّل لنيلز بور على ما كان يشكل لازمة حياته: لاإنفصالية مسألة حقيقة الأشياء عن مسألة الوجود الإنساني؟ ما هو قصر كرونبرغ بمعزل عن الأسئلة التي نطرحها عليه؟ إن الحجارة نفسها يمكنها أن تحدثنا عن الجزيئات التي تؤلفها، وعن الطبقات الجيولوجية التي أتت منها، وربما عن الكائنات المنقرضة التي تحتويها بحالة التحجّر، وعن التأثيرات الثقافية التي أثرت بالمهندس الذي كان يبني القصر، أو عن الأسئلة التي لاحقت هاملت حتى مماته. إن أياً من هذه المعارف ليس اعتباطياً، لكن أياً منها أيضاً لا يسمح لنا بتجنّب الإسناد إلى الذي بالنسبة له يصبح لهذه الأسئلة معنى.

وربما نجد في الحوار بين أينشتاين والشاعر والفيلسوف الهندي طاغور Tagore التعبير الأنقى عن الجدل بين مفهومي الحقيقة والموضوعية اللذين ضمتهما حوارات أينشتاين وبور. فخلال هذا الحوار اضطر أينشتاين للإستنتاج بأنه هو نفسه كان أكثر تديّناً من محاوره. فبمواجهة طاغور كان أينشتاين يدافع عن مفهوم حقيقة للأشياء منفصلة عن الفكر الإنساني، وعن وجود البشر نفسه، وبدونها لا يكون للعلم معنى. ولن يكون من الممكن أبداً، كما صرّح، إثبات أن حقيقة علمية لها موضوعية «فوق بشرية»، وكان ذلك بالتالي شكلاً من الاعتقاد الديني، اعتقاد لا غنى عنه لحياته. وعلى العكس، كان طاغور يعرف الواقعية التي تسمها الحقيقة، أكانت علمية أو أخلاقية أو فلسفية، على أنها نسبية: «فللورقة واقعية مختلفة اختلافاً غير محدود عن حقيقة الأدب. وبالنسبة لنمط التفكير الذي تملكه العثة التي تلتهم الورق ليس ثمة أبداً وجود للأدب، ولكن بالنسبة لفكر الإنسان فللأدب قيمة من الحقيقة أكبر بكثير من الورق نفسه. وبالمثل إذا كانت توجد حقيقة مجردة من العلاقة المحسوسة أو العقلية مع الفكر الإنساني، فإنها ستظل عدماً بقدر ما سنبقى بشراً[6]». وبالنسبة له، كانت الحقيقة بالتالي صيرورة مستمرة، وتحديداً مفتوحة، من التوفيق بين «الفكر الإنساني الكوني» ـ أي مجموع الأسئلة والاهتمامات والمعاني التي يتحسّسها البشر أو يمكن أن يصبحوا حساسين تجاهها ـ والفكر كما هو محصور في كل فرد.

ومنذ البدايات يسكن الفيزياء مثال المعرفة الذي وصفه أينشتاين لطاغور. فلو كان بإمكاننا تعريف السبب «الممتلىء» والنتيجة «الكاملة»، كما كان يقول لايبنيز، لبلغت معرفتنا بكمالها العلم الذي لدى الله عن العالم. واليوم أيضاً يتوصل رنيه ثوم

إلى تحديد الإسناد إلى رب التحديدية كأمر لا يمكن تجاوزه، إنه إله عالم «حيث لا مكان لما هو غير قابل للتشكّل[7]». لقد ترجم هذا الاختيار الميتافيزيائي للفيزياء بإسنادات عدة لإله لا يلعب بالنرد، بحسب أينشتاين، ويعرف آنياً موضع وسرعة جسيم، بحسب بلانك ـ أو للشياطين؛ فشيطان لابلاس Laplace قادر على حساب ماضي ومستقبل الكون ابتداء من ملاحظة أي من حالاته الآنية؛ ويستطيع شيطان مكسويل Maxwell عكس التطور اللاعكوس المقترن بزيادة الانتروبيا وذلك بمعالجة كل جزيء إفرادي.

ولكن ألا يزال بإمكاننا اليوم مماثلة هذا الخيار الميتافيزيائي بمثال المعرفة العلمية؟ لماذا نؤكد، كضرورة، هذا الجوار الخطر بين الدراية والجهل الذي يقود الفيزياء إلى استيهام علم مقطوع عن جذوره الخاصة كمثال للمعرفة؟ كذا فإننا نتوجه إذن في الاتجاه الذي حدّده طاغور. فالموضوعية العلمية لا معنى لها إذا كانت تتوصل إلى جعل الصلات التي نقيمها مع العالم موهمة، وإلى إدانة المعارف التي تسمح لنا بعقلنة الظاهرات التي نسائلها كـ «ذاتية فقط» أو «تجريبية فقط» أو «أداتية فقط». كان أينشتاين يقول بأن واقع أن العالم يتكشف على أنه قابل للفهم هو إعجاز غير قابل للفهم. ولكن أن يصل فهم العالم إلى نفي ما يجعله ممكناً، وإلى ردّ شروطه الخاصة إلى مقاربة إجرائية، فذلكم ما لم يعد إعجازاً بل منافياً للعقل!

إن التقليد الذي يسند للفيزياء معناها الفكري والشعوري يتحدد من خلال سؤال متّقد وليس من خلال إجابة. ولهذا فإنه يعطي معناه لتاريخ مفتوح ولا يحبسنا في حقيقة لا تترك أي خيار سوى الإخلاص أو الإنشقاق. وبشكل خاص فإن مثال فهم للعالم يحذف كلياً الفهم الذي يصفه، ويحفظ في قلب الفيزياء الإسناد إلى الله الوحيد القادر على إعطاء معنى لمعرفة «الحقيقي بذاته»، ليس له كبديل تصوّر للمعرفة ذرائعي بحت. فألا يمكن التفكير بمعرفتنا دون رجوع إلى العلاقة التي نقيمها مع العالم ليس مرادفاً بذاته للمحدودية والتخلي. وكما سنحاول أن نبين، فإن ذلك يمكن أن يكون مصدراً لمتطلبات جديدة من التجانس والموافقة، وفتحاً لتساؤلات جديدة تعطي معنى إيجابياً لتعددية العلاقات التي تقيمنا في هذا العالم.

وبشكل خاص فإن الإنقياد إلى اللاتحديدية لا يعارض الخيار الميتافيزيائي في إثبات التحديدية، بل خيار مواجهة مسألة الزمن، وخلق الأسئلة وأنماط المعقولية التي تعطيه المعنى بالوسائل المتجددة التي يجهزنا بها العلم المعاصر.

وكما سنرى، فإنه بإدخالنا تحديداً في مفهوم القانون العلمي نفسه إشراطاً بموضعنا، ويميز نمط المعرفة الذي يمكن أن نحصل عليه عن الظاهرات عن النمط الأسطوري تماماً الذي يرجعنا إلى صورة كائن لاحدود لكلية علمه، إنما يمكن للفيزياء اليوم أن تعطي معنى لهذا الزمن الذي بدونه لن يمكن إدراك وجودها.

ومن وجهة النظر هذه من المميز أن لايبنيز، وهو نفسه الذي فكّ رموز الدور الأعظمي لمبدأ السبب الأقل في فيزياء عصره، وجعل من التحديدية مثال علم يتوافق فيه العلم البشري مع العلم الإلهي، كان هو أيضاً الذي بيّن لماذا وكيف كان يمكن لهذا المثال أن يصبح عصي المنال وموهماً وعقيماً.

لنتصور حمار بوريدان Buridan وقد واجهه مرعيان متساويان بحشيشهما الشهي. ولنتخيل آدم وهو يتردد في أكل التفاحة المحرمة. فهل بإمكاننا التنبؤ بأي مرعى سيختار الحمار؟ وهل كان بإمكاننا لو عرفنا آدم قبل الخطيئة التنبؤ بأنه كان سيخضع للغواية وسيعصي الأوامر الإلهية؟ وآدم نفسه الذي كان أيضاً ليعرف بالمقدار نفسه أننا نريد تخيّله، هل كان سيستطيع التنبؤ بذلك أيضاً؟ يجيب لايبنيز بلا[8]. فالخيار الآني للحمار والفعل الحر لآدم لا يمكن تقليصهما إلى وهمين. إن الله يعرف بكل تأكيد، لكن هذه المعرفة لم تمنع عنا لأسباب محتملة يمكن أن يتم تجاوزها عبر تقدم مستقبلي للمعرفة. إننا لا نستطيع التنبؤ بخيار الحمار ولا بخيار آدم لأن علينا أن نمتلك من أجل التنبؤ بهما معرفة لامنتهية إيجابياً. فأياً كان مجموع المعلومات التي كان بإمكاننا تجميعها حول آدم قبل خياره، فبمجرد بقاء هذه المعلومات منتهية، أي إمكانيتها في التعبير عن نفسها بأعداد أو بكلمات، سنتوصل إلى تعريف آدم «غامض»، متوافق مع لانهاية من الآدميين الفرديين القابلين لمصائر متباينة، من الخطيئة أو من مقاومة الغواية.

إن الحرية اللايبنيزية في قلب عالم محكوم مباشرة بالسبب الكافي ليست وهماً، بل حقيقة تطبيقية تترجم بشكل دقيق ولا يمكن تجاوزه المسافة، التي وحده الله يستطيع تجاوزها، بين الكائن، الذي يغلف ويحوي اللانهاية، ومعرفتنا بالطبيعة المنتهية. فإذا فكرنا أن نقوم بحركة آنية، دون باعث أو رغماً عن أي محرض عقلي، فذاك أن ما ندعوه «دافعاً» يتعلق بمعرفتنا وبما نستطيع إدراكه بشكل منفصل. ولن يستطيع أي تقدم لهذه المعرفة أن يفرغ التجربة العملية لحريتنا من معناها، ذلك أنه حتى لو كان حقل معرفتنا المتميزة ينتهي إلى اللانهاية فإنه لن

يصل أبداً، بحسب تعبير المتسلسلات، إلى اللانهاية التي يتضمنها كيانا الفردي وأقل حركاتنا.

إن التأكيد اللايبنيزي على اللاتبسيطية التطبيقية للحرية الإنسانية ينتمي إلى الحقل الفلسفي. ولا تستطيع الفيزياء المعاصرة بالتأكيد مجاراة لايبنيز على المستوى الأخلاقي حيث يقف عندما يؤكد أنه في عالم يحكمه السبب الكافي يمكننا، نحن، أن نعيش أحراراً وأن نتوجه إلى الآخر ككائن حر، طالما أننا نعرف أنه لا هو ولا نحن يمكننا التنبؤ كيف نكون مجبرين على الفعل. ومن جهة أخرى فإن الطريق الذي اخترعه لايبنيز لكي يخلق بياناً معقولاً بين تجربة حرية البشر (أو تلقائية الحيوانات) وعالم السبب الكافي إنما يجد نفسه اليوم ممكن التكرار فيما يخص مواضيع أكثر تواضعاً تنتمي لحقل الفيزياء الخاص، ويمكن أن يقود إلى المسألة الفيزيائية للاعكوسية. فإذا كنا نعرف أن أية معرفة مهما بلغ تفصيلها لن تسمح لنا بالتنبؤ بالوجه الذي سيقع عليه نرد ما، فهل من الأفضل الحفاظ على التأكيد الذي يتبع النرد وفقه «رغم كل شيء» قانوناً تحديدياً، أو محاولة صياغة وصفه وفق نمط يحترم ويجعل نمط السلوك الذي يدين بوجوده له بما هو أداة لألعاب الصدفة معقولاً؟ إن رمي النرد إنما يشرخ إذن، كما سنرى، تناظر الزمن، ويحدد المستقبل له هو نفسه ولنا نحن الذين ننتظر مآله.

لقد قاد مسيرة لايبنيز، المستكشفة لكل الإشراطات التي تخضع لها كل معرفة منتهية، مهما كانت، لزوم التجانس والبحث عن صلة وصل بين المعارف المتناقضة ظاهرياً. كذلك فإن لزوم التجانس هو الذي يميز تجدّد تساؤلات الفيزياء المعاصرة. ويتجذّر هذا اللزوم في التحوّل العميق الذي شهدته الفيزياء خلال هذا القرن والذي قاد إلى تفجرها بلغات متعددة وفي الوقت نفسه إلى اكتشاف مناظير غير متوقعة وهائلة كما تبدو لنا لمثالٍ جديد للمعقولية. وقد تميز تاريخ هذا التحوّل بثلاث مراحل.

وقد شهدت أولى هذه المراحل إعداد كبرى المخططات التصورية التي لا تزال راجحة: النسبية الخاصة والعامة والميكانيك الكمومي. وقد نظر الفيزيائيون إلى هذه المخططات كتتويج للطموح الذي كانوا يطابقون الفيزياء معه: ألا وهو اكتشاف شفافية عالم عقلي إلى ما وراء الظواهر.

ومع ذلك، ومن الجانب الآخر لهذه الاستمرارية، من الموافق أن نشير إلى

ظهور عنصر أساسي جديد؛ وهو يتمثل بالمعنى الذي اتخذه الثابتان الكونيان c، سرعة الضوء، و h، ثابت بلانك. فكون أينشتاين لا يرجعنا إلى وجهة نظر وحيدة. فهو مسكون بالمراقبين الوديين المتوضعين في مراجع متحركة بالنسبة لبعضها بعضاً، وهكذا فإن الموضوعية لا يمكن أن تنشأ بينها إلّا من مشروع مشترك لتبادل المعلومات. ويخضع هذا التبادل إلى إشراط: فأي كائن فيزيائي لا يستطيع نقل معلومة بسرعة أعلى من سرعة الضوء. أما فيما يتعلق بثابت بلانك h الذي يربط المظاهر الجسيمية والموجية للكائن الكمومي، فإنه يجبرنا على التخلي عن نصف الإسنادات التي كانت تسمح بتحديد الجسيم الكلاسيكي. ولا يستطيع شيء في الكون الكمومي أن ينسب بشكل متزامن قيماً محددة جداً إلى متحولات، مثل الموضع والسرعة، واللذين كانا كلاهما ضروريين لتحديد جسيم كلاسيكي موضوعياً.

وبهذا المعنى يمكننا القول إن تشكيل الترموديناميك للمبدأ الثاني لعب دوراً رائداً بالنسبة لكبرى المخططات التصورية لفيزياء القرن العشرين. ويضع المبدأ الثاني هو أيضاً على المسرح إشراطاً يتشكل حوله الترموديناميك: ألا وهو أن السيرورات اللاعكوسة تفلت من التحكم فيما هو مستحيل أن نعكس مجراه وأن نعيد خلق الاختلافات التي عدّلتها. ومع ذلك فقد ظلّ هذا التشابه مكتوماً. وفي حين كانت النسبية والميكانيك الكمومي يتصدران انتصارات الفيزياء الكبرى في القرن العشرين، ظلّ المبدأ الثاني رديفاً لعدم المقدرة: فإشراطاتنا هي التي تجعلنا عاجزين عن التصدّي للتسوية التدريجية للفروقات، ومصارعة سيرورات التحلّل التي تقضي على كل شيء وتقود كوننا إلى الموت.

وتميز سلسلة من الاكتشافات غير المتوقعة أبداً والتي فتحت إمكانيات غير منتظرة بداية المرحلة الثانية. وأحد هذه الاكتشافات هو بالتأكيد لااستقرارية الجسيمات الأولية وتعقيدها. فبعيداً عن إيجاد عالم يفلت من الزمن إلى ما وراء ظاهرات على مستوانا، فإن عالماً نشطاً تتخلق وتختفي في قلبه الجسيمات في كل لحظة فرض نفسه على دهشة الفيزيائيين. واكتشاف آخر غير متوقع هو اكتشاف الصفة التاريخية للكون. والاكتشاف الثالث كان لبنى اللاتوازن التي قلبت العقيدة المماثلة بين زيادة الانتروبيا والفوضى الجزيئية. كذا وبالعودة إلى الماضي يمكننا القول إن هذه المرحلة الثانية شهدت اكتشاف عالم من السيرورات والخلق والتدمير

الفصل الثالث

أية نظرة إلى العالم

منذ العصر الذي كان لايبنيز ونيوتن يناقشان فيه الحركة التي تبدأ أو لا تبدأ «من نفسها» لم تنفك هذه المسألة تطرح: هل بإمكاننا «إدراك» الجِدّة دون تقليصها إلى مجرد ظهور، هل بإمكاننا تفسير التغيّر دون نفيه ودون إرجاعه إلى سلسلة من الشيء نفسه إلى الشيء نفسه؟ إن هذا السؤال ماثل اليوم أكثر من أي وقت مضى. في القرن التاسع عشر كان ينظر للحياة ولمختلف الأنواع ولوجود البشر ولمجتمعاتهم كنتاجات للتطور. واليوم، ومع نهاية قرننا العشرين هذه، ليس ثمة ما يبدو منذ الآن فصاعداً أكثر قابلية للإفلات من هذا النمط من المعقولية، ولا حتى المادة والزمكان. فليست النجوم فقط تولد وتحيا وتموت، بل إن للكون نفسه تاريخاً تعيدنا إليه الجسيمات الأولية التي لا تنفك تتخلق وتختفي وتتحول. إن هذا الاكتشاف للتطور في كل مكان حيث كان يعتقد بوجود شروط لازمنية يجعل من المفهوم الكلاسيكي للمعقولية الذي لا يزال يسيطر اليوم على إدراكنا «للقوانين الطبيعة» أكثر فأكثر تناقضاً.

كيف نفهم حدثاً، هو نتاج للتاريخ وحامل لإمكانيات جديدة للتاريخ، مثل حدث ظهور الحياة، إذا كانت قوانين الفيزياء لا تسمح بإعطاء معنى لفكرة التاريخ؟ لقد كان لجاك مونود(1) الاستحقاق الأكبر بطرق هذه المسألة بكل جوهريتها.

فبالنسبة له يُعدّ ظهور الكائنات الحية واقعاً لا يناقض بالتأكيد قوانين الفيزياء، إنما هذه القوانين لا تستطيع جعله معقولاً. «لقد ظهر رقمنا الذي راهنا عليه في ألعاب مونت كارلو «Monte - Carlo»، وعن هذا الحدث الوحيد يمكن لقوانين الفيزياء أن تذكر فقط الاحتمال الصغير جداً وشبه المعدوم. لكن المسألة أعمق من ذلك بكثير: فالوجود نفسه لكون فعال، ومتمايز، يبدو تحدّياً للمبدأ الثاني المطابق مع التطور باتجاه حالة توازن متجانس وساكن.

«هل سيمكننا يوماً التغلب على المبدأ الثاني؟»: تلكم هي المسألة التي يطرحها البشر من جيل إلى جيل، من حضارة إلى حضارة، على الحاسوب العملاق الذي تخيّله إسحاق عظيموف Isaac Asimov في «المسألة الدائمة[2] The Last Question». ويجيب الحاسوب برتابة: المعطيات غير كافية. تمر مليارات السنوات، وتموت النجوم والمجرات، لكن الحاسوب الذي بات متصلاً مباشرة بالزمكان يستمر بتجميع المعطيات الناقصة. وسرعان ما لا يعود قادراً على استقبال أية معلومة، فلا شيء «يوجد بعد» سوى الهباء اللامسمّى، لكن الحاسوب يستمر من جهته بالحساب وببناء العلاقات. وأخيراً، ها هو يمتلك الإجابة. غير أن أحداً لم يعد موجوداً ليعرفها، إلاّ أن الحاسوب يعرف الآن كيف يتغلب على المبدأ الثاني. وكان الضوء. . .

فكما ظهور الحياة بالنسبة لجاك مونود، فإن ولادة الكون نفسها تماثل إذن بحدث مضاد للانتروبيا، «مضاد للطبيعة»، انتصار للمعرفة على قوانين الطبيعة.

إن قصة عظيموف والقرعة الكونية التي ذكرها مونود تنتميان مع ذلك إلى الماضي. ولم يعد ضرورياً اليوم التفكير بأن الأحداث التي ندين بوجودنا لها تتوضع خارج «قوانين» الطبيعة. وذلك أن هذه القوانين لم تعد تتعارض مع فكرة تطور أصيل، بل تتبدّى على العكس أنها تحقق المتطلبات الضرورية الدنيا لتأمّل مثل هذا التطور.

وأول هذه المتطلبات، وهو شبه تحصيل حاصل، اللاعكوسية بالتأكيد، شرخ التناظر بين القبل والبعد. لكن هذا ليس كافياً. إن نواساً تتخامد حركته تدريجياً، وقمراً تتناقص مدة دورانه حول نفسه حتى تتطابق مع فترة دورانه حول الأرض، أو تفاعلاً كيميائياً يتوقف في حالة الاستقرار، كل ذلك إنما يستطيع أن يزعم بصعوبة أنه يصور ما نعنيه بتطور.

فالمتطلب الثاني إذن هو أن نتمكن من إعطاء معنى لمفهوم «الحدث». والحدث بالتعريف لا يمكن أن يكون ناتجاً من قانون تحديدي: فهو يستتبع بطريقة أو بأخرى أن ما قد نجم «كان يمكن» ألّا ينتج، وبالتالي فهو يقودنا إلى إمكانات لا يمكن لأية معرفة اختصارها. إن نمط معقولية الإمكانات بما هي كذلك، والحوادث التي تفصل وتبتّ بين هذه الإمكانات، هو بالتعريف الوصف الاحتمالي. ومع ذلك فإن القوانين الاحتمالية بذاتها ليست كافية بعد. فكل تاريخ وسرد إنما ينطوي على حوادث ويستتبع أن يكون هذا التاريخ قد جرى وكان يمكن ألا يحصل، لكنه لا يكون ذا أهمية إلّا إذا كانت هذه الحوادث حاملة للمعاني. فمتتالية من رمي النرد لا يمكن سردها إلّا إذا كانت لبعض الرميات نتائج ذات دلالة: فالنرد ليس أداة للعبة مقامرة إلّا إذا كان للعبة رهان.

كلنا نعرف قصة العدّ الناقص (الذي يجري عادة لاختيار لاعب) فيما يتعلق بالمسمار الذي نقص حدوة الفرس ممّا أدّى إلى إيقاف الفارس الذي أدّى غيابه أثناء معركة إلى الهزيمة ممّا جرّ إلى سقوط إمبراطورية... ذلكم مثال هزئي لنموذج السؤال الذي يسحر كل هاو للتاريخ والذي يشكل الموضوع المفضل «للرحلات في الزمن» التي يتصورها الخيال العلمي: ماذا كان سيجري لو...؟ إن هذا السؤال يشير دوماً إلى إشكالية تغيير المستوى. هل كان من الممكن لتغير بسيط ظاهرياً أن يغير مجرى تاريخنا؟ فالمتطلب الأدنى الثالث إذن هو أن تكون حوادث معينة قابلة لتحويل معنى التطور الذي تنظمه، أي، وبشكل عكسي، أن يتميز هذا التطور بآليات أو بعلاقات قابلة لإعطاء معنى للحدث ولتوليد «تجانسات» جديدة ابتداء منه.

وتمثل النظرية الداروينية المتطلبات الثلاثة الدنيا التي طرحناها: اللاعكوسية والحدث والتجانس. فاللاعكوسية أمر طبيعي طالما أنها موجودة على كل المستويات، منذ ولادة وموت الأفراد حتى ظهور أنواع جديدة تتوافق معها بؤر بيئية جديدة تخلق إمكانيات تطور جديدة. فهل ينطبق ذلك على الحدث؟ إن الحدث المميز، الذي على النظرية الداروينية أن تجعله معقولاً، هو ظهور نوع جديد. لكن هذا الحدث يعيدنا هو نفسه إلى جمهرة متقلبة من الأحداث الصغرية: فما ندعوه نوعاً ليس متجانساً إلّا إحصائياً؛ وكل مجموعة تتألف من أفراد مختلفين إلى حد عن بعضهم بعضاً، وكل ولادة تشكل إذن «حدثاً»، ألا وهو ظهور فرد جديد. إن خلق نوع جديد يعني أنه ثمة بين الأحداث الصغرية بعضها وقد اتخذ معنى: فبعض

الأفراد تميّزوا بنسب توالد مرتفعة أكثر من نسب توالد الآخرين، وقد حوّل تضاعفهم تدريجياً هوية النوع وعلاقة أعضاء هذا النوع مع بيئته. وهكذا يشكل الانتخاب الطبيعي الآلية التي بفضلها يمكن لاختلافات لا تنفك تتقلب أن تغيّر سويتها، وأن تولد اختلافاً حقيقياً يتمثل بتحوّل المظهر المتوسط للجماعة.

إن التطور الدارويني لا يشكل بالتأكيد سوى نموذج، وليس حقيقة التاريخ كله. لكن كل تاريخ يشتمل، مثل النموذج الدارويني، على اللاعكوسية والحدث والإمكانية بالنسبة لبعض الأحداث، في بعض الظروف، لاكتساب معنى ولتكون عند نقطة انطلاق تجانسات جديدة. ففهم تاريخ ليس تقليصه إلى انتظامات تحتية غامضة ولا إلى هباء من الأحداث الكيفية، بل فهم التجانسات والأحداث معاً: التجانسات بقدر ما تستطيع مقاومة الأحداث وردها إلى حد التفاهة، أو على العكس أن تدمر أو تحوّل بواسطة أحدها؛ والأحداث بقدر ما تستطيع أو لا تستطيع إحداث إمكانيات جديدة للتاريخ.

من الواضح أن الترموديناميك المعرّف في القرن التاسع عشر حول مفهوم التطور اللاعكوس باتجاه التوازن لا يفي هذه المتطلبات. فالحدث الوحيد الذي يستطيع إعطاءه معنى هو التحضير البدئي لمنظومة بعيدة عن الاستقرار، وما يصفه هو الطريقة التي يصبح فيها هذا الحدث تافهاً ومهملاً: فالمنظومة تنسى خصوصية أصلها لتتطور باتجاه حالة تكفي بضعة متحولات لوصفها.

كيف نفسر تغير المعنى الذي شهده مفهوم اللاعكوسية خلال العقدين الأخيرين؟ وكيف يمكن أن المبدأ الثاني كف عن التطابق مع اختفاء كل نشاط وكل اختلاف وبات يساهم اليوم في فهم عالم متطور جوهرياً؟

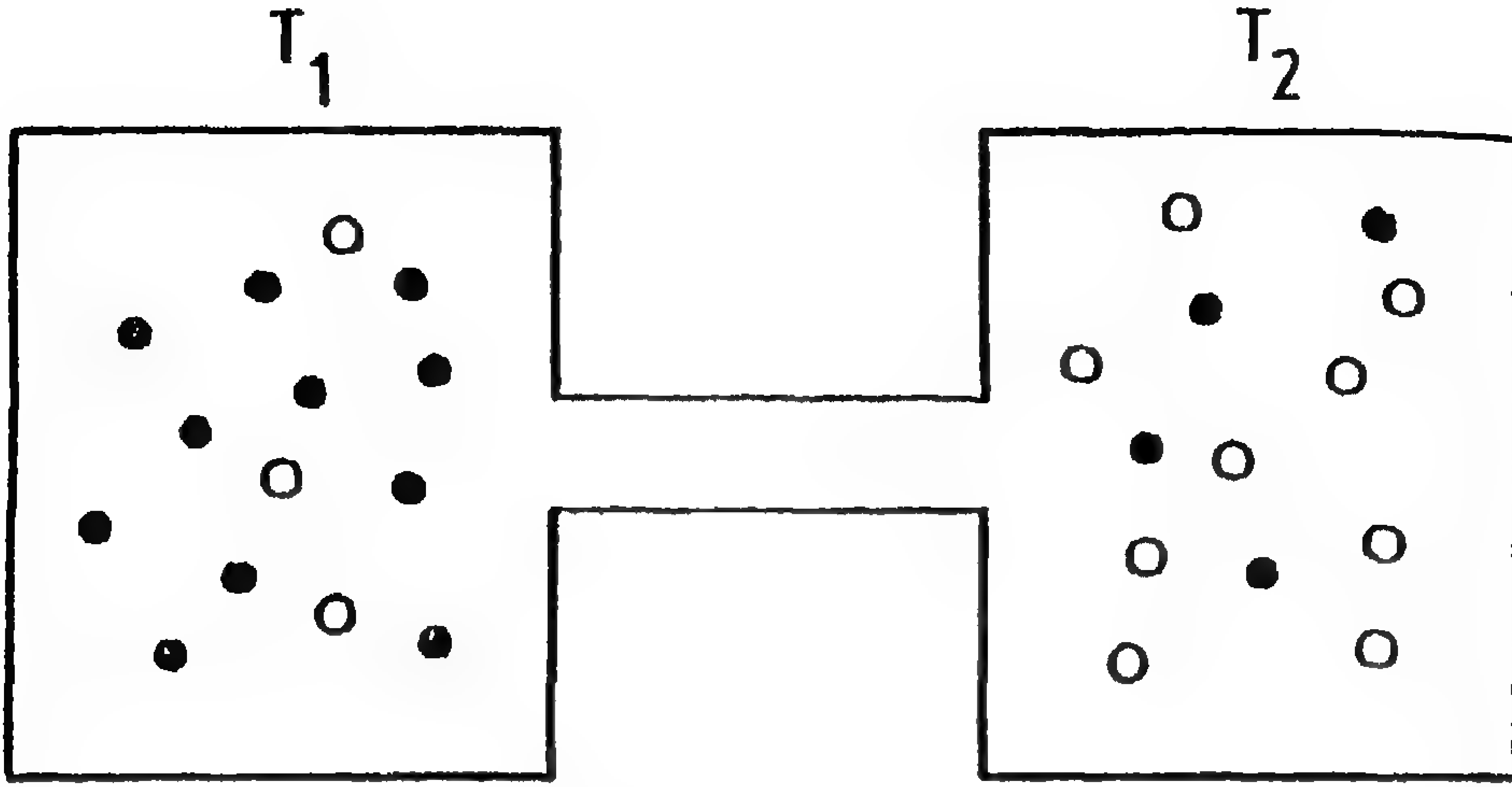
كان هدف المبدأ الثاني بالتأكيد، كما أعلنه كلاوزيوس Clausius، ما يمكننا أن ندعوه بالنشاط الفيزيائي ـ الكيميائي للمادة. إن التفاعلات الكيميائية وظاهرات النقل والانتشار والتكاثر، التي توافق تطورات ذات انتروبيا متزايدة، لا يمكن أن ترد إلى حالات مثلى كسيرورات عكوسة، بعكس حركة النواس مثلاً. فكل تفاعل كيميائي يميز اختلافاً بين الماضي والمستقبل ويتم باتجاه مستقبلنا. وبالمثل فإن الحرارة تنتشر من النقطة الأكثر حرارة نحو نقطة أكثر برودة، باتجاه مستقبلنا وليس باتجاه ماضينا. ومع ذلك، فإن المبدأ الثاني بمفهوم كلاوزيوس كان يعرف هذا النشاط من وجهة نظر خاصة جداً: وذلك بما أنه، ضمن بعض الشروط، يقود حتماً

إلى اختفائه الخاص، أي إلى حالة التوازن.

كيف نواجه بطريقة أعمّ النشاط الفيزيائي الكيميائي المنتج للانتروبيا؟

إن حالة التوازن يمكن أن تعرّف كمثال خاص على «حالة ساكنة»، أي على حالة لا تتغيرَ فيها الانتروبيا خلال مرور الوقت. فكل تغيّر للانتروبيا في قلب منظومة ترمودناميكية يمكن أن يحلّل إلى نمطين من الإسهام: الإسهام «الخارجي» للإنتروبيا، الذي يقيس التبادلات مع الوسط والذي ترتبط إشاراته بطبيعة هذه التبادلات، و«إنتاج» الانتروبيا الذي يقيس السيرورات اللاعكوسة في قلب منظومة. وهذا الإنتاج للانتروبيا هو الذي يحدّده المبدأ الثاني كموجب أو معدوم. ففي الحالة السكونية يكون إنتاج الانتروبيا بالتعريف متوازناً بشكل دائم من خلال إسهام الانتروبيا المرتبطة بالتبادلات مع الوسط: فالمنظومة مقر نشاط دائم، منتج للانتروبيا، يحافظ عليه لقاء تبادلات مستمرة مع الوسط. وحالة التوازن توافق الحالة الخاصة التي لا تؤدي فيها التبادلات مع الوسط إلى تغيير الانتروبيا وحيث يكون إنتاج الانتروبيا هو أيضاً بالتالي معدوماً.

كذا فإن الحالة السكونية تسمح إذن بتمييز النشاط المنتج للانتروبيا بما هو كذلك، وليس فقط ضمن منظور اختفائه في حالة التوازن. إن دراسة الحالات السكونية تكفي لفصل المبدأ الثاني عن فكرة التطور باتجاه «الفوضى» والجمود والتجانس. لنأخذ تجربة الانتشار الحراري (الشكل 1). لدينا حجرتين مرتبطتين بقناة ومملوءتين بمزيج من غازين هما مثلاً الهيدروجين والآزوت. ونبدأ التجربة من وضعية توازن: فللحجرتين درجة الحرارة نفسها والضغط نفسه وتحتويان المزيج المتجانس نفسه من الغازين. ثم لنخلق فرقاً في درجة الحرارة بين الحجرتين. إن الابتعاد عن حالة التوازن الذي يؤدي إليه هذا الاختلاف في درجة الحرارة لا يمكن الحفاظ عليه إلاّ إذا غذي بدفق من الحرارة يعوض عن آثار الانتشار الحراري: وهكذا تسخن حجيرة باستمرار في حين تبرد الأخرى. وفي هذه الحالة تظهر التجربة أن سيرورة «انفصال للغازين» تنتج بالترافق مع سيرورة انتشار الحرارة. وعندما تبلغ المنظومة حالتها السكونية بحيث أنه، بالنسبة لدفق معطى من الحرارة، لا يتغير اختلاف درجة الحرارة خلال مرور الوقت، سيصبح هناك هيدروجين أكثر فلنقل في الحجيرة الساخنة وآزوت أكثر في الحجيرة الباردة، بحيث يكون اختلاف التركيز متناسباً مع اختلاف درجة الحرارة.



الشكل 1 ـ عندما يُفرض فرق في درجة الحرارة بين الحجيرتين، فإن الخليط يحتوي على جزيئات «بيضاء» أكثر في الحجيرة اليمنى، وعلى جزيئات «سوداء» أكثر في الحجيرة اليسرى. ويكون اختلاف التركيز متناسباً مع اختلاف درجة الحرارة.

وفي هذه الحالة نرى أن الفعالية المنتجة للانتروبيا لا يمكن أن تماثل بتسوية بسيطة للاختلافات. ويلعب الدفق الحراري بالتأكيد هذا الدور، لكن سيرورة فصل الغازين الممتزجين الناتجة بالترافق مع الانتشار هي سيرورة خلق للاختلاف، سيرورة «مضادة للانتشار» تقيسها مساهمة «سلبية» في إنتاج الانتروبيا.

يبين هذا المثال البسيط إلى أي حد من الضروري أن نتحرر من فكرة أن النشاط المنتج للانتروبيا مرادف للتحلّل ولتسوية الاختلافات. ذلك أنه لو كان صحيحاً أن علينا أن ندفع ثمناً انتروبياً للحفاظ على سيرورة الانتشار الحراري في وضعها السكوني، فإنه من الصحيح أيضاً أن هذه الحالة توافق خلقاً لنظام. وثمة رؤية جديدة تصبح ممكنة عندها: إذ يمكننا أن نرى «الفوضى» التي تنتج من الحفاظ على الحالة السكونية مثل ما يسمح لنا بخلق نظام، هو اختلاف في التركيب الكيميائي بين الحجيرتين. فالنظام والفوضى يتمثلان هنا ليس كمتعارضين بين بعضهما بعضاً، بل كأمرين لا يمكن الفصل بينهما.

ما الذي ندعوه بالنظام؟ وما الذي ندعوه بالفوضى؟ كل منا يعلم أن التعريفات تتنوّع وتترجم في غالب الأحيان أحكاماً تخصّ الجمال والفائدة والقيم. ومع ذلك فإن هذه الأحكام تغتني أيضاً ممّا نتعلمه. وقد فرضت علينا لفترة طويلة الحركة التدومية على أنها المثال بامتياز على الفوضى. وعلى العكس فقد ظهر

الكريستال كصورة للنظام. وكما سنرى لاحقاً فإننا منذ الآن بصدد تعديل هذه الأحكام. فنحن نعرف اليوم أن علينا فهم النظام التدومي على أنه «منظم»: فحركات جزيئين يقعان على مسافات عيانية من بعضهما بعضاً يمكن أن تقاس بالسنتيمترات هي حركات مرتبطة في الواقع. وعلى العكس، فالذرات التي تؤلف قطعة كريستال تهتز حول موضع توازنها بشكل غير متجانس: فالكريستال فوضوي من وجهة نظر أنماط تحرضه.

إن مثال الانتشار الحراري يطرح مسألة «ثمن» خلق النظام. فالفصل الكيميائي بين الغازين ليس فرزاً يجري لمرة واحدة بل ينتج من سيرورة ثمنها خلق مستمر لـ «الفوضى»، وتسوية اختلاف درجة الحرارة الذي يولده الدفق الحراري. ونجد بياناً مماثلاً في الأيض الحي حيث يترافق بناء الجزيئات البيولوجية المعقدة مع هدم جزيئات أخرى، ويكون حاصل السيرورات موافقاً بالطبع لإنتاج انتروبيا موجبة. ولكن هل بإمكاننا مدّ هذه الفكرة إلى حيث لا يستطيع الترمودیناميك أن يقودنا، إلى حيث يتعلق الأمر تحديداً بعلاقات البشر فيما بينهم ومع الطبيعة؟ ألم يكن تكثيف العلاقات الاجتماعية مثلاً الذي وفرته الحياة المدنية مصدراً للإسراف، والتلويث والاختراعات العملية والفنية والفكرية؟ إن هذه المماثلة خصبة بتفصيلها لما نسعى غالباً إلى معارضته، لكنها والحق يقال لا تؤسّس أي حكم فيما يخصّ القيم المتبادلة لما يخلق ويفنى، ولا تبرّر بشكل خاص تاريخنا كضروري أو أمثلي. إن مثال الفيزياء يمكن أن يضيء المشكلة المطروحة على البشر لا أن يحلّها.

وكما سنرى في الفصل السابع من هذا البحث يمكن للثنائية البناءة والهدامة للسيرورات اللاعكوسة أن تضيء أيضاً مسألة أصل الكون. ففي قلب هذا الكون ثمة لكل «باريون baryon»، وهو جسيم ثقيل، نحو 10^8 إلى 10^9 فوتون. إن هذه الباريونات النادرة وهذه الفوتونات الكثيرة، والتي تشكل «الإشعاع المتخلف المهيب للجسم الأسود»، هي نتاج حدث وحيد خلقت أثناءه بشكل متزامن. فكيف لا نرى في ذلك دلالة ثمينة؟ ألا يرجع الموت الحراري، بعيداً عن انتمائه لمستقبلنا، إلى أصولنا؟ ألا تدين الباريونات بوجودها، وهي بنى معقدة ومنتظمة، لانفجار انتروبي هائل تسمح لنا الفوتونات، وهي نتاج متخلف مستقر، بقياس ثمنه؟

لنعد إلى الفيزياء الكيميائية. إن ظاهرة الانتشار الحراري هي ظاهرة مستمرة: ففصل الغازين متناسب مع اختلاف درجة الحرارة. لكننا في حالات أخرى نتعامل

مع ظاهرات فجائية ومذهلة: مع ظهور أنظمة عمل جديدة مختلفة نوعياً تنتج على مسافة محددة من التوازن، أي ابتداء من عتبة كثافة للسيرورات اللاعكوسة التي تكون المنظومة مقرها.

ولن نقف مطولاً هنا عند اكتشاف البنى المبدِّدة التي وصفت بشكل مستفيض في «الميثاق الجديد». ولنأخذ مثال «لاإستقرارية بينار Benard» الشهير لنوضح المفاجأة التي شكلتها هذه البنى. ولدينا في هذا المثال طبقة سائلة رقيقة خاضعة لاختلاف في درجة الحرارة بين سطحها الأسفل المسخن باستمرار وسطحها العلوي المماس للوسط الخارجي. وبالنسبة لقيمة محددة لاختلاف درجة الحرارة، فإن نقل الحرارة بالتوصيل، حيث تنتقل الحرارة بواسطة الاحتكاك بين الجزيئات، يتضاعف بنقل بالحمل الحراري، حيث تشارك الجزيئات نفسها بحركة جماعية. وعندها تتشكل الدوامات التي توزع الطبقة السائلة إلى «خلايا» منتظمة.

إن ظهور دوامات بينار يترجم شرخاً في التناظر الفراغي. فقبل عتبة اللاإستقرارية، كانت كل منطقة من المنظومة في الحالة الوسطية نفسها. ولم يعد الأمر كذلك بعد لاإستقرارية بينار: فعند نقطة معينة تصعد الجزيئات، وعند نقطة أخرى تنزل. فكيف يكون ذلك ممكناً؟ كيف تستطيع الجزيئات ذات العدد الكبير التي تشكل الطبقة السائلة أن تتخلى عن الحركة غير المتجانسة التي كانت تخضع لها؟ كيف يمكن لهذه الجمهرة اللامعدودة والهبائية أن تعتمد سلوكاً متجانساً ومتمايزاً بين منطقة وأخرى.

بعيداً عن التوازن، تلكم بحق حالات جديدة للمادة من الموافق التحدث عنها، حالات تتعارض مع مجموع حالات التوازن. وفي الحقيقة لا يهم كثيراً التحدّث هنا عن حالة توازن غازية أو سائلة أو بلورية، فلجميعها صفة أساسية مشتركة تميزها عن وضعيات اللاتوازن التي تمثلها دوامات بينار أو الحركة التدومية. وتتميز حالات اللاتوازن الجديدة للمادة بظهور صلات على المدى البعيد. إن الاختلاف الكبير في سلم القياس بين العلاقات على مدى الأنغستروم (10^{-8} سم) التي تميز حالات التوازن والعلاقات على مسافات عيانية، من رتبة السنتيمتر مثلاً، التي تظهر بعيداً عن التوازن، يعبر عن الاختلاف بين التوازن واللاتوازن.

فما هي العلاقة؟ في حين أن تعريف التفاعلات، أي الصلات الفعّالة بين المشكِّلات، يشكل جزءاً من تعريف المنظومة نفسه ويتقدم بهذا المعنى على

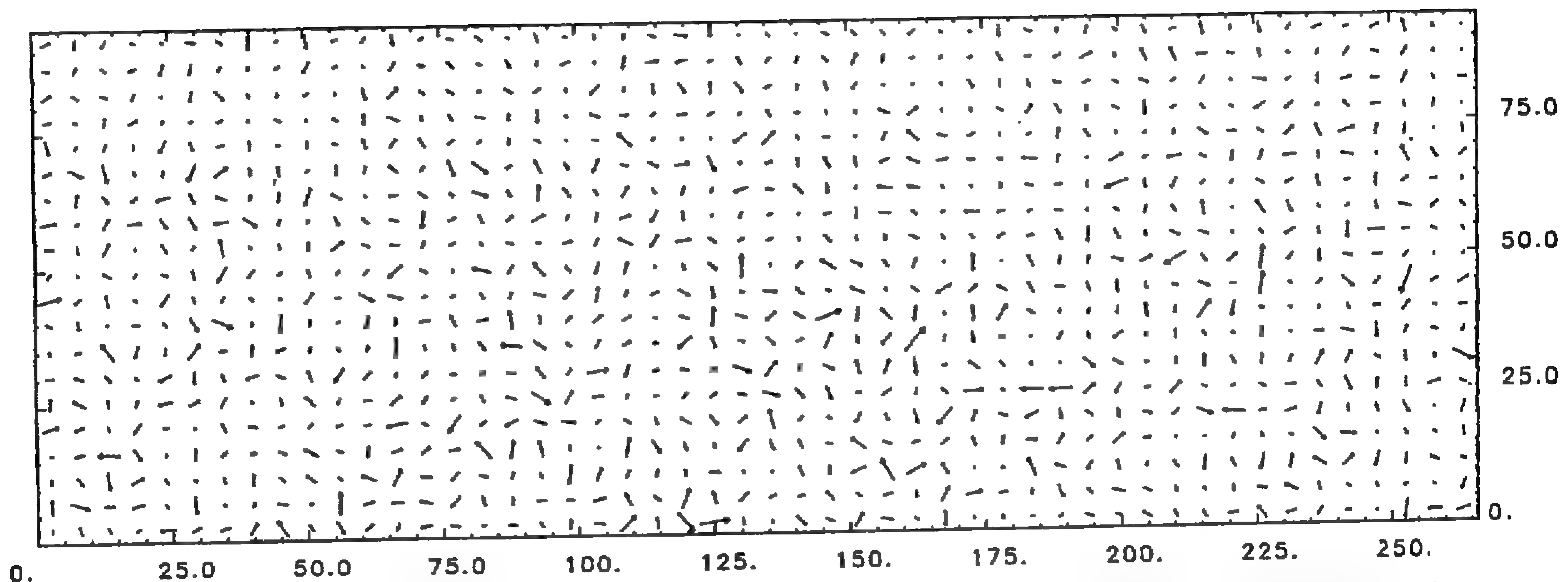
دراسة نظم فعالياته المختلفة، فإن العلاقات تتحدد بالنسبة لهذه النظم: فهي تسمح بتحديد العلاقة بين «الكل» و«الأجزاء» التي تميز كلًا منهما. ويمكن للأجزاء المطروحة هنا أن تكون ببساطة مناطق المنظومة المختلفة، وعندها سنتساءل كيف أن مثل هذا الحادث المحلي يؤثر بمحيطه، وعلى أي مدى وإلى أية درجة؟ لكن هذه الأجزاء يمكن أن تكون أكثر تجريداً. وهكذا فإن الكريستال يمكن أن يوصف بعلاقات أنماطه في التهيّج الجماعي (الفوتونات).

إن حالات التوازن تتميز بواقع أنه يوجد دائماً تمثيل، خيار للواحدات (أنماط التهيّج للكريستال، والجزيئات للغاز) بحيث يكون سلوك هذه الواحدات غير متجانس.

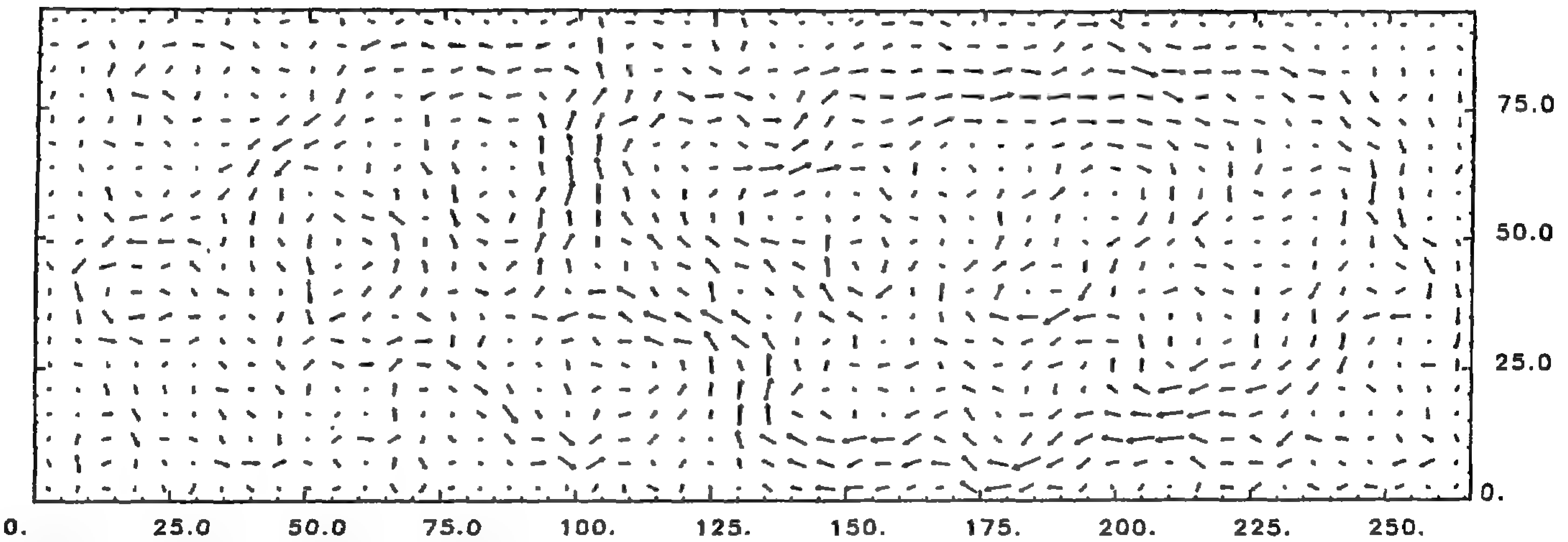
وبالمقابل فإن وسطاً بعيداً عن التوازن، مثل الوسط الذي يمثل مقر دوامات بينار، يتميز بعلاقات أصيلة على المدى البعيد. والدوامات مثال للتجانس الذي تترجمه هذه العلاقات: فالجزيئات المأسورة في دوامة لا يمكن أن تحدَّد بعد ذلك كواحدات مستقلة عن بعضها بعضاً.

وقد سمحت تجربة حديثة من المماثلة الرقمية على الحاسوب ولأول مرة بتصوير ولادة دوامات من هذا النوع[3]. وتشتمل المماثلة على 5040 قرصاً صلباً قابلة للتحرّك وللتصادم في وسط من بعدين. ويتعرض «طرفان» متقابلان من العلبة لدرجتي حرارة مختلفتين (إن كرة ترتطم بأحد هذين الطرفين بسرعة ما تبتعد عنه بسرعة جديدة تتحدد ابتداء من توزع السرعات المميزة «لدرجة حرارة» هذا الطرف). وتخضع الأقراص من جهة أخرى إلى قوة خارجية ثابتة بالاتجاه المعاكس للانخفاض الحراري، وهي تمثل قوة الجاذبية. وفي البداية يكون توضُّع الجزيئات عشوائياً، ويكون توزع سرعاتها موافقاً لتوزع التوازن الموافق لدرجة الحرارة المحلية (شكل 2 ـ أ).

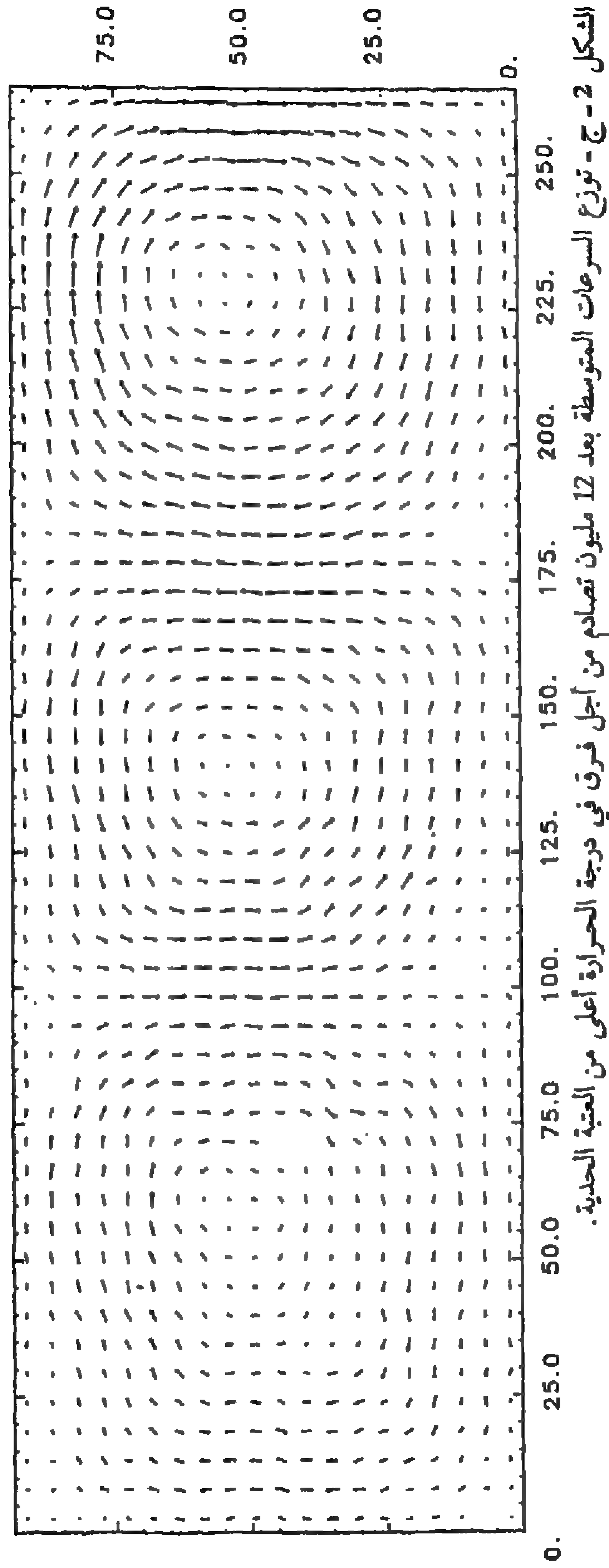
وتسمح المماثلة بـ«رؤية» ماذا يعني ظهور علاقات على المدى الطويل: إنه ولادة سلوك عياني جديد لا يعود سببه الأصلي إلى تفاعلات ابتدائية جديدة، بل يستند إلى جمهرة العناصر كما هي، وعلى ما تشكله «معاً» الواحدات الابتدائية. وعندما يكون اختلاف درجة الحرارة أقل من الاختلاف الحدي (الشكل 2 ـ ب) نرى تشكل دوامات صغيرة تدوم لبعض الوقت ثم تنحل. وبالمقابل، في شروط موافقة للنقطة الحرجة (الشكل 2 ـ ج)، نجد أن الدوامات التي ظهرت بعد عدة



الشكل 2 ـ أ ـ حالة المنظومة بعد زمن تطور مساو لزمن التصادم الوسطي. ويشير كل سهم إلى السرعة الوسطية للكرات في إحدى «العلب» الألف التي تقسم الفراغ. وتوزع هذه السرعات إتفاقي محليا.



الشكل 2 ـ ب ـ توزع السرعات المتوسطة بعد 12 مليون تصادم في شروط تُماثِل اختلافاً في درجة الحرارة الدنيا مع الفرق الحدي. وتظهر الدوامات لكنها لا تشكل بنى عيانية مستقرة.



الشكل 2-ج- توزع السرعات المتوسطة بعد 12 مليون تصادم من أجل فرق في درجة الحرارة أعلى من العتبة الحدية.

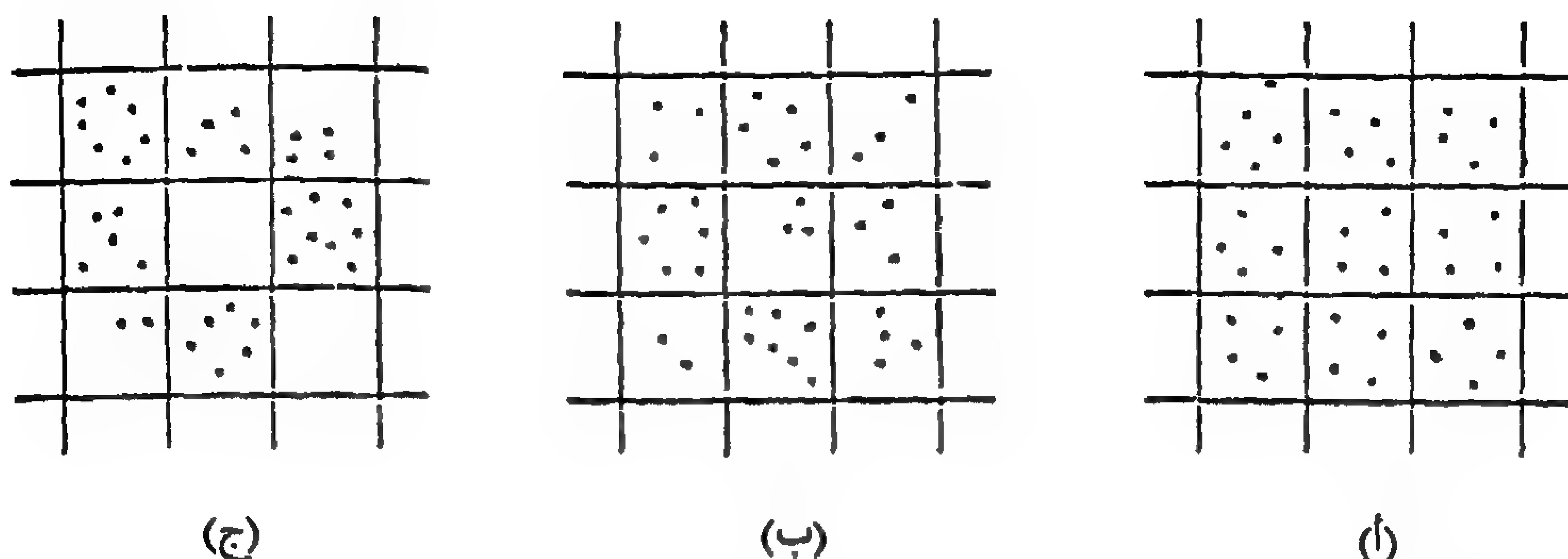
آلاف من التصادمات لم تعد تتحلل، بل تصبح أكثر فأكثر وضوحاً، «مطوعة» عدداً أكبر فأكبر من «الجزيئات» حتى تنظم الوسط كله.

«تبين» المماثلة إذن المزاحمة بين التهييج الحراري للجزيئات والقيد المفروض على المنظومة. فما أن يُفرض اختلاف في درجة الحرارة حتى يؤدي لظهور الدوامات، لكن هذه الأخيرة تبقى وقتية تحت العتبة الحرجة وتنتهي بأن تدمر بالتهييج الحراري. وعلى العكس فإنها تتثبت فوق هذه العتبة.

وإنه لمن الصعب، دون صيغ رياضية، أن نفسر بمصطلحات جزيئية ماذا يعني ظهور علاقات على المدى البعيد في حالة هذه الدوامات. وبالمقابل، وفي حالة الأنظمة الكيميائية البعيدة عن التوازن، فإن الوضع يكون أكثر بدهية[4]. وفي هذه الحالة فإن القيد العام يؤثر على التركيب الكيميائي للمنظومة، وبتحديد أكبر على التباعد بين هذا التركيب وذلك الذي سيوافق التوازن. ويمكننا أن نعتبر كل تصادم من التصادمات التفاعلية كـ «حدث» نادر بالنسبة للتصادمات «البراونية» التي لا تنفك تحدث، وأن نحاول تمييزه من وجهة نظر نتائجه. فكل تصادم تفاعلي يؤدي بالنتيجة إلى تغيّر محلي في التركيزات الكيميائية يخلق اختلافاً. وهكذا إذا أعطى جزيء A جزيئي X فإن النتيجة المحلية لهذا الحدث وجود «زيادة» في جزيئات X في هذه المنطقة الصغرية. وتنحصر المسألة كلها عندها في معرفة إذا ما كان هذا الاختلاف سيخفف، وسيتعدل مباشرة برد الفعل المعاكس، كما هو الحال في حالة التوازن الكيميائي، إذا كان سيستطيع تسبيب أثر ما.

لنأخذ الحالة التي تؤدي فيها التدفقات التي تبعد المنظومة عن التوازن إلى سيطرة التفاعل «A يعطي X2»على التفاعل المعاكس له. وهكذا فإن كل تفاعل يعطي جزيئي X في المنطقة نفسها من المنظومة، فإن هذين الجزيئين سيتواجدان في حالة تقارب من بعضهما بعضاً أكثر ممّا كان ليسمح به التوزع الوسطي. وعلى العكس، عندما يكون التفاعل المعاكس هو المسيطر، فإن الجزيئين X سيكونان أكثر تباعداً عن بعضهما بعضاً ممّا هو الحال في التوزع «الفوضوي»: فكل الجزيئات المتقاربة لها في الواقع حظوظ التلاقي والاختفاء. فكل شيء يجري إذن «كما لو» أن الجزيئات X تتجاذب في حالة وتتنافر في الحالة الأخرى (شكل 3).

إن كل آلية تفاعل كيميائي غير خطي (من النمط $A \rightleftharpoons 2x$) تؤدي إذن، خارج التوازن، إلى ظهور العلاقات المتبادلة. ولكن لكي يكون لهذه العلاقات نتائج



الشكل 3 ـ عندما يسود التفاعل A←2X، فإن كل شيء يجري كما لو كان يوجد تفاعل دافع بين الجزيئات X (الشكل أ). وعندما يتوازن التفاعلان يكون لدينا توزع عادي يسمّى توزع بواسون Poisson (الشكل ب). وعندما يسود التفاعل 2X←A فإن كل شيء يجري كما لو كان يوجد جذب بين جزيئات X (الشكل ج).

ظاهرة فإنما يتطلب ذلك قيوداً أشد بكثير، ألا وهي وجود تفاعلات «حفزية» («ذاتي التحفيز» من النمط 3X←2X+A، «التحفيز المضاد» من النمط 2Y←X+A؛ 2X←Y+B). وعندها يمكن للحالة السكونية أن تصبح غير مستقرة على بعد محدد من التوازن، ويمكن للمنظومة اعتماد نظام فعالية بنائي (من نمط الساعة الكيميائية مثلاً). وفي مثل هذا النظام تشكل المنظومة «كلاً» يكون كل جزء فيه «حساساً» لكل الأجزاء الأخرى.

كذا فإن السيرورات اللاعكوسة بعيداً عن التوازن هي إذن منبع «للتجانس». إن ظهور هذه الفعالية المتجانسة للمادة ـ «البنى المبدِّدة» ـ يفرض علينا نظرة جديدة، وطريقة جديدة لتحديد موضعنا بالنسبة للمنظومة التي نحددها ونعالجها. ففي حين أنه في حالة التوازن والقرب من التوازن يكون سلوك المنظومة، لفترات طويلة بدرجة كافية، محدداً بكامله بالشروط الحدية، فإن علينا من بعد الاعتراف له باستقلالية معينة تسمح بالحديث عن بنى بعيدة عن التوازن كظاهرات «تنظيم ذاتي».

لنأخذ أولاً مصطلحاً مثل مصطلح «قيد». إن دفق الحرارة أو المادة الذي يحفظ الابتعاد عن التوازن هو «قيد» طالما أن المنظومة ستتطور بدونه باتجاه التوازن. ويكفي هذا القيد الذي نفرضه قريباً من التوازن لتحديد فعالية المنظومة: وفي الواقع توافق الحالة السكونية الفعالية الدنيا المنسجمة مع القيد الذي يحفظ المنظومة بعيداً عن التوازن (تلكم هي نظرية الإنتاج الأدنى للانتروبيا التي وضعها

أحد مؤلفي هذا الكتاب عام 1945). يمكننا إذن القول، بالنسبة لسيرورة مثل سيرورة الانتشار الحراري على سبيل المثال، إن الاختلاف الحراري المفروض على المنظومة «يفسر» فعالية هذه الأخيرة. لكن ذلك لا ينطبق إلى ما وراء عتبة اللاإستقرارية. وهكذا فإن دوامات بينار تكلف أكثر من الانتروبيا من الحالة السكونية، التي أصبحت غير مستقرة، والتي كانت لتوافق الاختلاف نفسه في درجة الحرارة: فالحرارة تنقل بسرعة أكبر من السطح الأدنى باتجاه السطح الأعلى، ويجب بالتالي تغذية المنظومة بدفق من الحرارة أكثر كثافة للحفاظ على الفرق نفسه في درجة الحرارة. وفي هذه الحالة من الصعب القول إن قيد اللاتوازن يفرض على المنظومة فعاليتها. فهذه الأخيرة تنتظم آنياً «ابتداء» من هذا القيد.

إن تغيير الصلة بين فعالية منظومة والقيود التي تحددها يصل إلى أبعد من ذلك. وسنبين كيف أنه، ابتداء من مفاهيم «الحساسية» sensibilité واللاإستقرارية instabilité والتفرّع bifurcation، يشرع الفيزياء على مسألة التطور.

ولإدخال مفهوم الحساسية (أو التأثّر) لنأخذ مثلاً أولاً سيقودنا إلى دوامات بينار[5]. ففي حين أن أثر الجاذبية على طبقة سائل، في منظومة متوازنة، يكون مهملاً تماماً، فإنه يلعب دوراً حاسماً في ظاهرة تتصف باللاإستقرارية مثل ظاهرة بينار. وفي الحقيقة فإن دوامات بينار تترجم بشكل من الأشكال «التناقض» بين الجاذبية وفرق درجة الحرارة: فهذا الأخير يولد كثافة أضعف في الجزء الأخفض، أي في الجزء الأسخن، من الطبقة السائلة، في حين أن الجاذبية تولد توزعاً معاكساً للكثافة.

يمكن إذن لنظام فيزيائي كيميائي أن يصبح «حساساً»، بعيداً عن التوازن، لمعاملات مهملة قريباً من التوازن. ولا ينطوي استخدام مصطلح مثل مصطلح «حساسية» في هذا الإطار على إسقاط إنساني، بل يعني «إغناء لمفهوم السببية». فالمنظومات البعيدة عن التوازن لا تخضع لقوة الجاذبية على طريقة جسم ثقيل، وسلوكها لا يخضع لعلاقة «عامة» من السبب والنتيجة. إن العلاقة السببية هي علاقة متبادلة هنا: ففعالية منظومة هي التي «تعطي معنى» للجاذبية والتي تكاملها بطريقة معينة بنظام عملها الخاص، وعندها فإن الجاذبية تجعل هذه المنظومة قادرة على تشكيل بنى جديدة وتمايزات جديدة.

إن مفهوم «الحساسية» يربط ما كان الفيزيائيون قد اعتادوا على فصله:

تعريف المنظومة وفعاليتها. فلتعريف منظومة في حالة التوازن يمكننا إهمال واقع أنها موجودة في الحقل الجاذبي الأرضي، لكن هذا التقريب يصبح غير ممكن بعيداً عن التوازن. وهكذا فإن فعالية المنظومة هي التي تفرض إذن تغيير تعريفها. ومذاك لا يعود بإمكاننا الحديث، كما كان الحال بالنسبة للتوازن، عن منظومة «قابلة للمعالجة» لأنها محددة كلياً «بقيودها الحرجة»، أي بصلاتها التي تقيمها مع وسطها والتي يمكننا تعديلها كيفما أردنا. إنها الفعالية الأصلية والذاتية للمنظومة التي تحدد كيف يجب أن نصف علاقتها بالمحيط، والتي تولد إذن نموذج المعقولية التي ستكون ملائمة لفهم تواريخها الممكنة.

إننا لنجد مفهوم الحساسية مرتبطاً بمفهوم «اللاإستقرارية»، طالما أن الأمر يتعلق في هذه الحالة بحساسية المنظومة لذاتها ولتغيّرات نشاطها الخاص. وهنا أيضاً إنما بفعالية المنظومة تتعلق ملاءمة أنماطنا في التمثيل. إن بإمكاننا وصف منظومة في حالة التوازن إنطلاقاً من القيم المتوسطة فقط للقياسات التي تميّزه، وذلك أن حالة التوازن مستقرة بالنسبة للتقلبات المستمرة التي تشوش هذه القيم، إذ أن هذه التقلبات ستتراجع وتتناقص في نهاية الأمر. ولهذا يمكننا أيضاً تحديد هذه المنظومات على أنها قابلة للمراقبة بالتعريف: ففي منظومة فيزيائية ـ كيميائية تتعلق القيمة المتوسطة لدفق الطاقة أو المادة ومجموعة القيود الحرجة باختيار المجرب، لكن ذلك لا ينطبق على واقع أنه في لحظة ما يحصل تصادم رجعي ما أو أن دوامة صغيرة تتشكل في طبقة رقيقة من سائل.

وهكذا فإن التمثيل الذي نبنيه فيما يخصّ منظومة يعيدنا إذن بالتأكيد إلى إمكانياتنا في المعالجة، لكن ملاءمتها تتعلق باستقرارية المنظومة بالنسبة لما لا نستطيع معالجته ولواقع أن الأحداث غير القابلة للمراقبة تبقى أو لا تبقى مهملة. إن واقع أن هذا الحدث أو ذاك يمكن أن يصبح «ذا معنى»، ويكف عن أن يكون مجرد ضجيج في الجلبة الخرقاء للفعالية الصغرية، يدخل إلى الفيزياء هذا العنصر الروائي الذي كنّا قد قلنا إنه كان لا غنى عنه لمنظور حقيقي للتطور. وتاريخ الحياة يمكن بالتأكيد أن يُقرأ، ولو جزئياً على الأقل، كتاريخ لتخفيف لـ «الحساسية»، مثل الإدماج بواسطة المتعضية الحية «الفعالة» لتفاعلات ضعيفة تصبح مقداراً مماثلاً من «المعلومات» الناسجة لصلاتها مع عالمها.

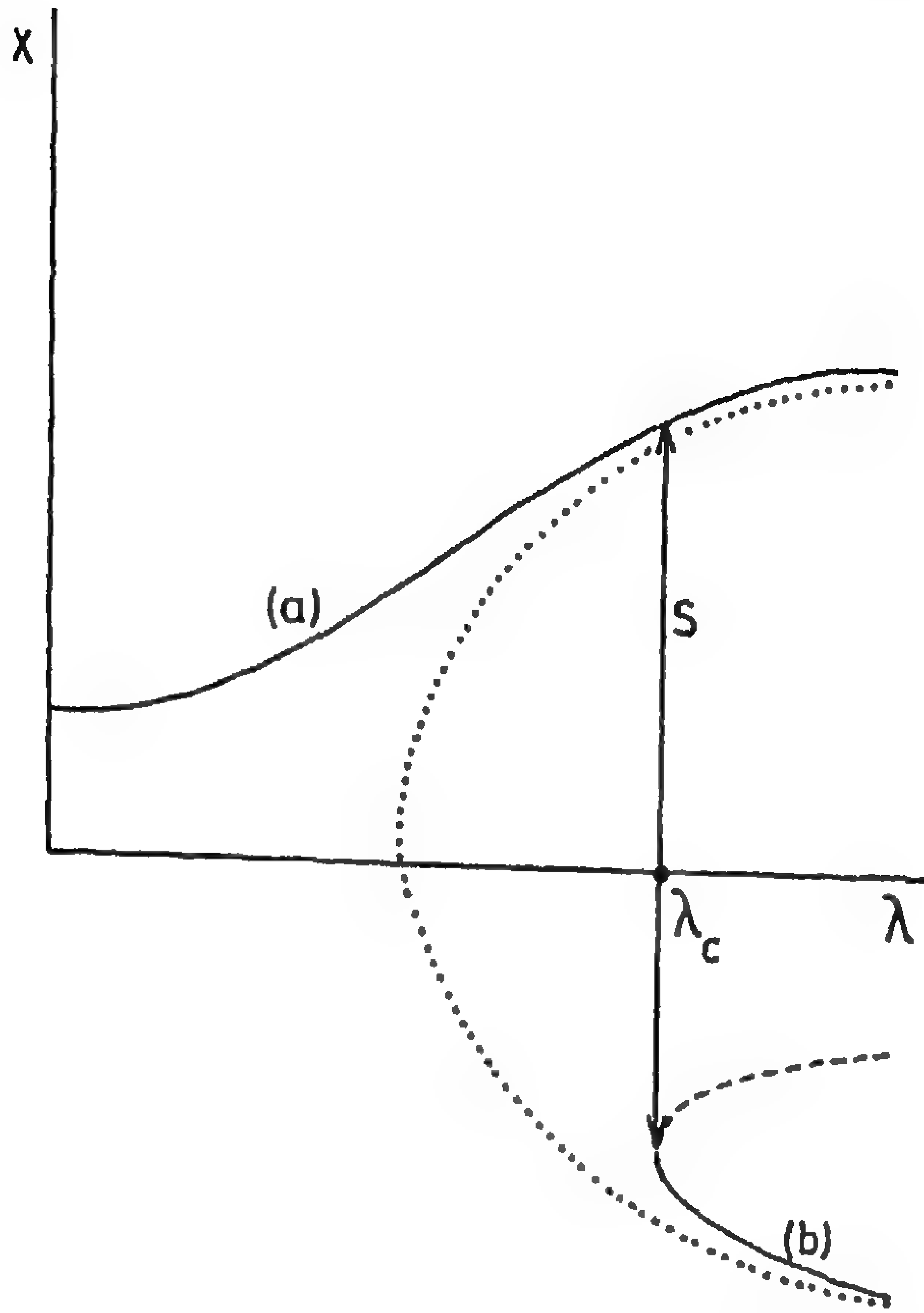
لنعد إلى مسألة اللاإستقرارية... ماذا سيحدث لو...؟ ما الذي كان

سيحـدث لو. . .؟ تلكم ليست فقط أسئلة يـطرحها المؤرخ، بـل والفيزيـائي أيضـاً بمواجهة منظومة لم يعد قادراً على تمثّلهـا كمنظومـة قابلة للمعـالجة وللمـراقبة. إن هـذين السؤالين لا يـرجعـان إلى جهـلٍ حـادثٍ ولا يمكن تخـطيـه، بـل يحـددان خصوصية «نقاط التفرع». ففي هذه النقاط يصبح سلوك المنظومة غير مستقر ويمكن أن يتطور باتجاه كثير من أنظمة العمل المستقرة. وفي مثل هذه النقاط لن تسمح لنـا «معرفة مثلى» باستنتاج ما سيحدث وإحلال اليقين محل الاحتمالات.

إن دراسة أبسط نقطة تفرع، وهي النقطة التي تصبـح فيها حـالة غيـر مستقرة في حين تنبثق حـالتان مستقـرتان ممكنتـان بشكـل متنـاظـر، تكفي لإظهـار الصفـة المتعـذر تبسيطهـا أو إختصارهـا للوضع الاحتمـالي: فثمة فـرصة واحـدة من إثنتين لإيجاد المنظومة بعد نقطة التفرع في أحد نظامي الفعـالية الممكنين. وهكـذا يكفي حقل الجاذبية في بعض الحالات لتحـديد خيـار مفضل، وبـالتالي لتجـديد إمكـانية للتنبؤ شبه تحديدية (الشكل 4). ومع ذلك تظل الظاهرة احتمالية بجوهرهـا، إلاَّ في حال تقدم معرفتنا لآليات التفاعلات وللشروط البدئية ولكـل خصوصيـات المنظومـة التي تسمح بالتغلب على الصدفة، بل وعلى تغيير بنيـة مخطط التفـرعات. إن هـذا المخطط إذن، تمثيل التشارك وبيان الإمكـانات، هـو الذي يحـدد في كل حـالة مـا الـذي سيمكن التنبؤ به ومـا يمكننا معـرفته مسبقـاً والذي سيمكننـا فقط مشـاهـدتـه وروايته.

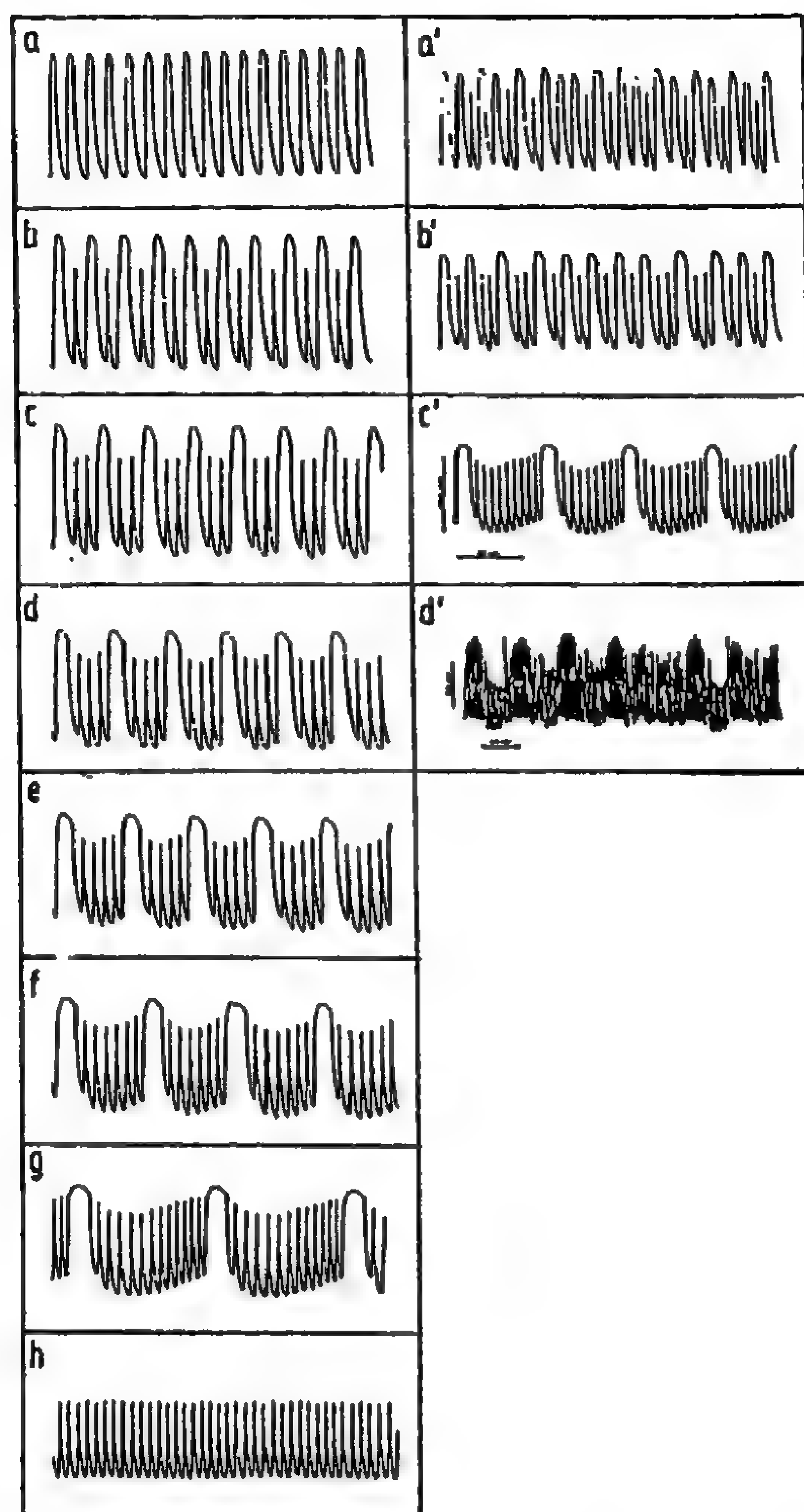
إن نـظرية التفـرعات Théorie des bifurcations هي في أوج نمـوها حـالياً، وترتبط بها أسماء كثيرة، وبخاصة اسم رنيه ثوم René Thom الـذي شكلت نظريتـه في الكوارث أول تصنيف هام لأنماط التفرعات الممكنة. ونعرف اليوم أن المنـظومة نفسها يمكن أن تجتاز عدة مناطق لاإستقرار، شرط أن نزيد أولاً بـأول تباعـدها عن التوازن (شكل 5) حيث يتحول سلوكها بشكـل نوعي. ويمكنهـا بخاصـة بلوغ نظام هبـائـي حيث يمكن لفعاليتها أن تحدد على أنها عكس الفوضى الحيادية التي تسود في التوازن: إن أية إستقرارية ما عادت لتؤمن ملاءمة وصف عياني، وكل الإمكانات تتحين وتتواجد معاً وتتداخل، وتكون المنـظومة «في الـوقت نفسه» كـل ما يمكن أن تكونه.

أجملنـا فيما سبق وصف المفـاهيم الجديـدة التي تفصلها الفيـزياء بعيـداً عن التوازن والنظرة الجديدة التي تعلّم الفيزيائيون خلال هـذه السنوات الأخيـرة إلقاءهـا



الشكل 4 ـ ظاهرة تفرع «مشاهدة» بحضور حقل خارجي (حقل الجاذبية مثلاً). ويُمثِّل التركيز X، المميز لنظام فعالية أو نشاط المنظومة، بتابع للمتحول λ الذي يقيس التباعد إلى التوازن. ويمثل الخط المنقط التفرع المتناظر بين النظامين a و b اللذين كانا ليوجدا بغياب الحقل. وبوجود هذا الأخير يظهر النظام a بشكل مستمر في حين أن النظام b لا يمكن بلوغه إلاّ من خلال تشويش محدود ابتداء من $\lambda = \lambda c$.

على عالم السيرورات الفيزيائية ـ الكيميائية. وكنا قد أكدنا منذ «الميثاق الجديد» أن هذه النظرة تشكل الوعد بتجدد التجانس الثقافي الذي كانت مُثُل المعرفة التي كانت تتطابق معها الفيزياء الكلاسيكية قد ساهمت في هدمه. كيف نفهم هذا الوعد؟ ليس بالتأكيد كوعد بالرجوع إلى الوراء نحو مفهوم موحّد ومطمئن يُحل محل الكون المستقر عند اليونان «نظاماً كونياً متطوراً» شفافاً مثله تماماً بالنسبة للذكاء الإنساني. ولهذا فقد ميّزنا مفهوم التطور ليس بمصطلحات «تصورات» يفترض أن «تجيب» على أسئلتنا، بل بمصطلحات متطلبات دنيا وقيود لا يمكن بدونها طرح المسألة.



الشكل5 ـ تغير زمني لـ«كمون مسرى» (يقيس الحالة الكيميائية للوسط المتفاعل) في التفاعل «كلوريت ـ تيوكبريتات»[6]، ويمكن للمنظومة، من أجل نفس التفاعل الكيميائي بإجرائه ضمن كثافات وشروط دفق مختلفة، التعرف (من a إلى h) على النوسانات الدورية المعقدة وأخيراً على نوسان ارتخاء (h)، أو على نوسانات غير دورية (هبائية) من a' إلى d'.

وقد بيّنا كيف أن الفيزياء كان بإمكانها مستقبلاً ملء هذه المتطلبات الدنيا. ومع ذلك فإنها لا تشكل بالنسبة لها العلم النموذج، بالمعنى الذي كان يمكن فيه للتصورات التي أوجدها الفيزيائيون «أن تُطبّق» على علوم أخرى أو أن تجد في هذه العلوم مكافئاتها. وعلى العكس تماماً فإن تحوّل الفيزياء يشرخ مفهوم «العلم النموذج».

كـان هذا المفهـوم للعلم النمـوذج مـرتبـطاً بمـا كـان يشكـل مجـد الفيـزيـاء الكلاسيكية: ألا وهو اكتشاف القـوانين الثابتـة إلى ما وراء التغيـر. كذا كـان يحكم على أي علم ببعده عن هذا المثال، وبالتالي على النظر إلى نفسـه كـ «نهج مـا قبل علمي» لا يزال خاضعاً للشكل الـروائي والتندري وللظاهـر، أو على اعتناق نمـوذج معاكس يثبت مثلاً، بمواجهة الموضوعية العلمية، القصدية أو القيم التي تشكل ميزة الموضوع. ويجـد الفيزيـائيون أنفسهم اليـوم مجبرين على تغييـر المثال الـذي كان يقـودهم، أي على موضعتـه واستخدامـه كأداة يتعلق الأمـر بفهم حدودهـا. فـالفهم يعني أيضاً أن نفهم بالضبط لماذا تكون حالة التوازن مستقرة، ولمـا تسمح بتعـريف منظومة على أنها خاضعة للمنظومة التي تحركها، وذلك بالقدر نفسه الذي نفهم فيـه لمـاذا يجب بعيـداً عن التـوازن التخلي عن هـذا التعـريف للمـوضـوع الفيـزيـائي الكيميائي في حين أن تصورات جديدة ـ تصورات العلاقة المتبادلـة واللاإستقـرارية والحسـاسية والتفـرع ـ تصبح مـلائمة. وبعيـداً عن طـرح رؤيـة وحيـدة على العلوم الأخـرى يكتشف الفيزيـائي في مجالـه الخاص حقيقـة متعددة لا يستـطيع إعـطاءها معنى دون أن يعترف في الوقت نفسه بالتعدد الذي لا يمكن اختـزاله للمسـائل التي تُطرح على العلوم الأخرى.

لنأخذ مثلاً مفهومـاً كمفهوم الحسـاسية. فكمـا رأينا سـابقاً فـإن هذا المفهـوم ينطوي على أن تعريف صلات منظومة بمحيطها يتعلق بنظام فعالية هذه المنظومـة. فلأي شيء يمكن لكائن أن يكون حساساً؟ وبماذا يمكن أن يتحرض وينشط؟ وعلى أي شيء تجعله علاقاته مع عالمه قادراً؟ إن مثل هذه الأسئلة تصبح ذات معنى الآن بالنسبة لـ «كائنات» بسيطة بقدر المنـظومات الفيـزيائيـة ـ الكيميائيـة. ولكن كيف لا تطرح هذه الأسئلة نفسها بإلحاح أكبر على الذين يدرسـون الكائنـات الحية المـزوّدة بـالـذاكـرة والقـادرة على التعلّم والتفسيـر؟ وكيف لا تجـد هـذه الأسئلة معنى أكثـر أسـاسية أيضـاً عندمـا يتعلق الأمـر بـالبشـر الـذين تجعلهم اللغـة حسـاسين للتعـدّد اللامحدد لمـاضيهم، ولمستقبلهم الذي يمكن أن يخشـوه أو يأملوا بـه، وللقراءات المختلفـة والمتفجـرة في الحـاضـر؟ أليست العلوم نفسهـا أحـد متجهـات هـذه الحساسية؟ يشكل «الإنفجار الكبير Big Bang» وتطور الكـون بالنسبـة لأناس اليـوم جزءاً من العالم بالطريقة نفسها التي كانت تشكل فيهـا بالأمس أسـاطير البـدء جزءاً من العـالم. كيف نحكم مسبقاً مـا «هو» الإنسـان، ومـا هي التصـورات المـلائمـة لتعريف هويته، إذا كانت هوية منظومة فيزيائية ـ كيميائية مرتبطة منذ الآن بفعاليتها؟

وبالمثل، فإن مسألة الحدث، والظروف التي تسمح له بالانتشار، وباتخاذ معنى، وبأن يكون فرصة لتحول نوعي، هي مسألة مشتركة بين كافة العلوم التي تعالج مجموعات وأنماط وجود «مشترك». ومن المذهل أن نستنتج أن النظريات الاجتماعية والسياسية، بل والثوريين أيضاً ومبدعي الأنماط الجديدة وتقني الدعاية، إلخ، يواجهون جميعاً السؤال نفسه: ما هي اللاإستقرارية؟ وكيف نيسّرها ونرعاها أو على العكس نحتمي منها؟ إلاّ أن الوضع هنا أعقد بكثير ممّا هو في الفيزياء: فعلى عكس الجزيئات، فإن الناس يتذكرون ويتخيلون ويضعون أو يخترعون العلاقات، وباختصار فهم قادرون على طرح مسألة ما يحيونه على أنفسهم. وبالتالي فإن «الظروف» تكتسب معان مخففة وتكامل وتدمج حتى الوصف أو التحليلات التي نحاول تفسيرها بها. إن العلاقات اللاخطية، التي أدرك الفيزيائيون دورها الحاسم في الفيزياء، هي ليست فقط كلية الحضور هنا بل وقابلة لشبك وجهات النظر المحلية والرؤى الشاملة والتمثيلات المتباينة للماضي وللحاضر وللمستقبل. فكيف نحاول عندها تجاهل تفرد الأسئلة التي يطرحها تاريخ البشر؟

ذلكم هو وعد التجانس الذي نقرؤه في صيرورة ومستقبل الفيزياء. إنه ليس وحدة ستسمح لنا بفهم «الفكر» و«الموضوع» بالمصطلحات عينها، وبرد التطور البيولوجي لا بل والاجتماعي إلى تصنيفات الفيزياء ـ الكيميائية، بل إمكانية بيان إيجابي بين العلوم، وأسئلة لا تغلقها على ذاتيتها بل تفتحها على إمكانية أسئلة واجهتها العلوم الأخرى.

في كتاب حديث(7) ذكّر ألان بلوم Allan Bloom بالنقد الذي وجهه سويفت للعقلية العلمية. فسكان لابوتا Laputa بعقليتهم الديكارتية يتوجهون بعين نحو السماء، حيث يفكون قوانينها الرياضية، وبعين أخرى نحو الداخل، نحو ذاتيتهم الأنانية. وتسيطر جزيرة لابوتا الطائرة على الأرض بفضل القدرة التقنية المرتكزة على اكتشاف المبادىء الفيزيائية. وهكذا فإن العلم كان الحليف الطبيعي للسلطة التي تسيطر على ما تختار أن تجهله، أي على البشر الذين ليسوا صوراً هندسية ولا ذاتية تأملية صرفة.

إن المسألة التي طرحها سويفت Swift لهي مسألة خطيرة وليست من تلك المسائل التي يمكن لتحويل نظري أن يحلها. ومع ذلك يمكننا القول إن العقلية العلمية لم يعد من الممكن استحضارها اليوم لتأييد العلماء الذين يتبعون نموذج

سكان لابوتا. فالمواجهة بين الموضوع الخاضع لقوانين لازمنية والذات الحرة، المسيطرة على العالم إنما المجردة من الصلات المتعددة التي تنسجها معه، لا يمكن أن تسمى بعد الآن بـ «العقلية»، بالمعنى الذي سيكون من العقلانية معه أن نفرق بين العالم «الصحيح» و «الشرعي» الذي فك العلم رموزه والعالم المضطرب الذي يعيش فيه العلماني.

كذا يعيدنا المثال الكلاسيكي للعلم، اكتشاف عالم معقول إنما بدون ذاكرة ولا تاريخ، إلى الكابوس الذي أعلنه كونديرا Kundera وهكسلي Huxley وبخاصة أورويل Orwell: في عام «1984»، شغلت اللغة نفسها بماضيها وبالتالي أيضاً بقدرتها على اختراع المستقبل، وساهمت في حبس البشر في حاضر بلا مرجع ولا خيار. إن هذا الكابوس هو كابوس السلطة ولم يعد كابوس العقلية العلمية. فهذه الأخيرة لم تعد تسمح بتعريف تعطيل الذاكرة، وإلغاء السرد والوصف، وتقليص التخيّل كتطهيرات وتنقيات، وهو الثمن الشرعي لبناء المجتمع كموضوع للعلم؛ وعلى العكس فإنها تقود إلى تمييزها كتشويهات مدمرة لما نزعم أننا نعمل على فهمه.

إن الثقافة لتاريخية إلى أبعد الحدود، وهي منسوجة من السرود المتعلقة بالماضي، وإنها تذكر للأحداث التي ميزتها وإعادة خلق مستمر لمعنى هذه الأحداث وللامكانات التي تفتحها. وبكتابتنا لهذا البحث، الذي هو استذكار وإبداع للمعنى، فإننا نشارك إذن بالتعريف بطبيعة الثقافة، بل وأكثر من ذلك بثقافة لعب فيها العلم دوراً استثنائياً منذ البداية كما كنا قد أشرنا في الفصل السابق. والقراءة التي قمنا بها للفيزياء بعيداً عن التوازن، والتي تمحورت حول مفهوم التطور، إنما تقع في هذا التقليد الثقافي. إنها تهدف إلى تحريض حساسيات جديدة وأسئلة جديدة وإمكانيات جديدة.

عالم «هو نفسه» وعالم بتعددية لا تقبل الاختصار: تلكم فكرة تسكن ثقافتنا، إنما كانت تبقى غريبة على العلوم المأسورة ضمن نوسان عقيم بين التوحيد، التقليصي أو الرؤيوي، والتفرق الاستكفائي للمناهج. إنها الفكرة التي تسكن هذا الكتاب. وكما سنبين في الفصل القادم، المتمحور حول مفهوم الجاذب، فإن استكشاف هذا العالم الواحد والمتعدد في آن واحد لا يزال في بداياته. إن تصورات جديدة، حاملة لتقاربات غير متوقعة ولتمييزات غير منتظرة في آن واحد، تهزّ اليوم أفضل المقولات رسوخاً وتؤسّس طرق اتصال متعددة بين العلوم.

الفصل الرابع

من البسيط إلى المعقد

كيف نعرف الفرق بين البسيط والمعقّد؟ إن الإجابة الأولى التي تخطر في بالنا، الإجابة التقليدية، إنما تنطوي على مفهوم التراتبية. فعند حدّ أقصى نجد أشياء تحديدية ومعقولة كلياً مثل النواس. وعند الحد الآخر نجد البشر ومجتمعاتهم. وبين الحدّين ثمة لغز سيرورة متنامية من «التعقيد» و«انبثاق» المعقد ابتداء من البسيط. ومع ذلك فإن الوضعية التي نكتشفها اليوم أكثر دقة بكثير. فأنى أدرنا نظرنا يقع على «مزيج» حيث يتجاور البسيط والمعقد دون أن يتعارضا بشكلٍ تراتبي. كذا فإننا نعرف من بعد أن البساطة الظاهرة للنواس يمكن أن تخفي عالماً من التعقيد. أما فيما يتعلق بالمجتمعات البشرية، أفلا تظهر لنا الصورة نفسها لهذا المزيج، محرضة في آن واحد مفهوم «السلطة»، الذي ينطوي على إمكانية الوصف والتنبؤ، ومفهوم «التاريخ»، الذي يعيدنا إلى الخلق المعقد للصلات الجديدة ذات التضمينات والنتائج غير المتوقعة كثيراً؟ ربما كان إذن أحد أهم دروس «اكتشاف التعقيد» هو تعلمنا فك رموز العالم الذي نعيش فيه دون إخضاعه لفكرة اختلاف تراتبي بين مختلف السويات.

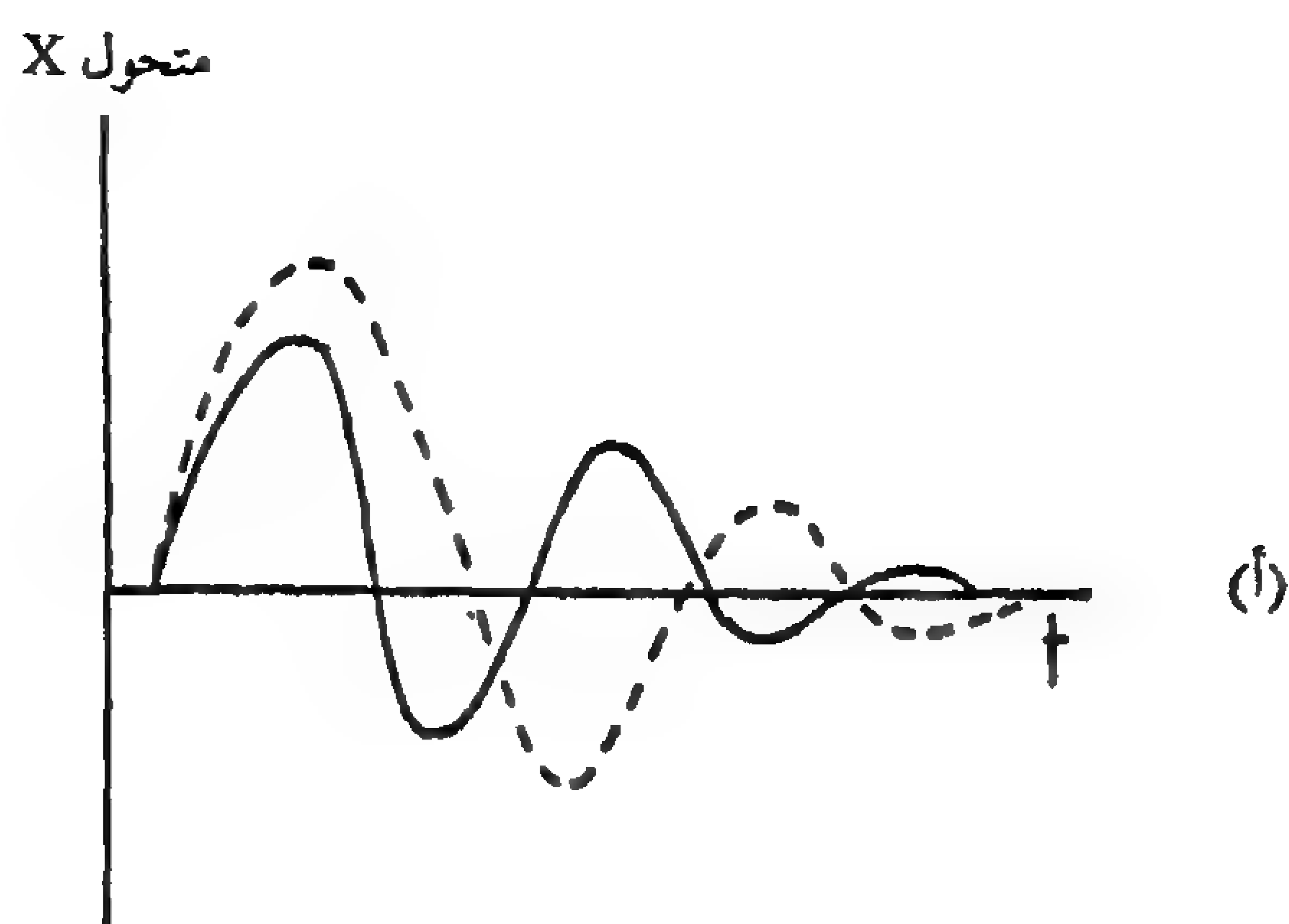
ومن أجل استكشاف هذا التجدد للصلات بين البسيط والمعقد فإننا سنأخذ كمرشد مفهوم «الجاذب». إن هذا المفهوم كما سنرى أمكن أن يكون في الماضي

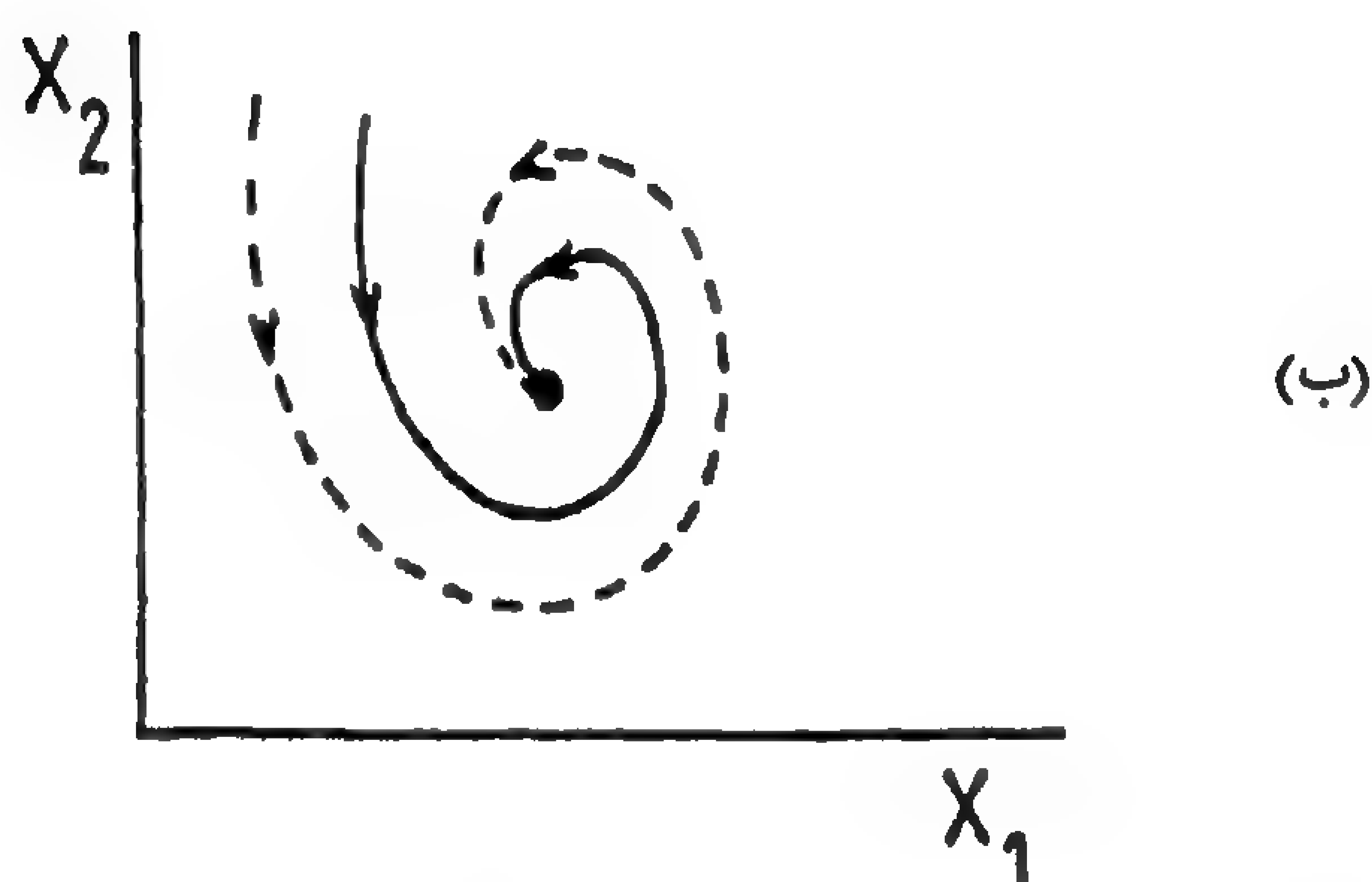
رمز التجانس: فكل الأنظمة الخاضعة لجاذب كان يبدو أنها يجب أن «تتماثل». وعلى العكس، يرمز مفهوم الجاذب اليوم إلى التنوّع النوعي للمنظومات المبدِّدة.

إن مفهوم حالة الجاذب يعيدنا في الحقيقة إلى مفهوم المنظومة المبدِّدة، المنتجة للإنتروبيا. فالنواس المثالي الذي لا احتكاك فيه ليس له حالة جاذب بل يتابع بشكل غير محدد حركته النوسية. وبالمقابل فإن حركة نواس حقيقي تتخامد تدريجياً. كذا وفي حالة النواس البسيط فإن وجود الجاذب الذي تشكله حالة توازنه (بالمعنى الميكانيكي) يسمح بتمييز كل حركة نوسانية حقيقية بكل عموميتها، دون أن يكون بحاجة لمعرفتها في خصوصيتها. فأياً كان الموضع والسرعة البدئيين لنواس فإننا نعلم في الواقع كيف سنستطيع وصفه إذا انتظرنا لفترة طويلة: فهو سينتهي إلى حالة السكون التي كان يوجد فيها في وضعية توازنه. وبالمثل فإن وجود الجاذب الذي تشكله حالة التوازن الترمودينامي يسمح بتأكيد أن جمهرة من مليارات مليارات الجسيمات في حجيرة معزولة ستتطور نحو حالة لم يعد وصفها يتعلق إلاّ بعدد صغير من الثوابت الملاحظة كدرجة الحرارة والضغط.

لنلحظ في هذه الأثناء أن أقل احتكاك يحول بالتالي جذرياً تعريف النواس بما هو موضوع فيزيائي يجعلنا نمر لفترة طويلة بدرجة كافية من وصف لحركة دائمة عكوسة إلى وصف لتطور مبدِّد يتميز بحالة جاذبة. ذلكم مثال على «اللاإستقرارية البنائية»، وهو مفهوم ستتاح لنا فرصة العودة إليه فيما يخصّ علم الكونيات.

ولكي نتمثل هذا الجاذب لندخل فراغاً ينغمر فيه هذا الجاذب. وسيملك هذا الفراغ عدداً من الأبعاد بقدر ما يلزم من المتحولات لوصف التطور الزمني للمنظومة. إن حالات التوازن للمنظومات المبدِّدة توافق بالتعريف جواذب «نقطية»، تتمثل بنقطة في هذا الفراغ. وكذلك هو الأمر أيضاً بالنسبة للمنظومات القريبة من التوازن الترموديناميكي والخاضعة لنظرية الإنتاج الأدنى للانتروبيا. وفي كافة هذه الحالات، وأياً كان التحضير البدئي للمنظومة، فإن تطورها ـ ضمن قيود ذات حدود معطاة ـ سيمكن أن يُمثَّل بمسار يقود من النقطة الممثلة لحالة البدء باتجاه النقطة الجاذبة. وهكذا فإن هذه النقطة الأخيرة تسيطر إذن على مجمل الفراغ. إن كل المنظومات الممثلة بالمتحولات المستقلة نفسها والخاضعة للقيود نفسها ذات الحدود «تخضع للحالة نفسها» وللمصير نفسه (شكل 6).

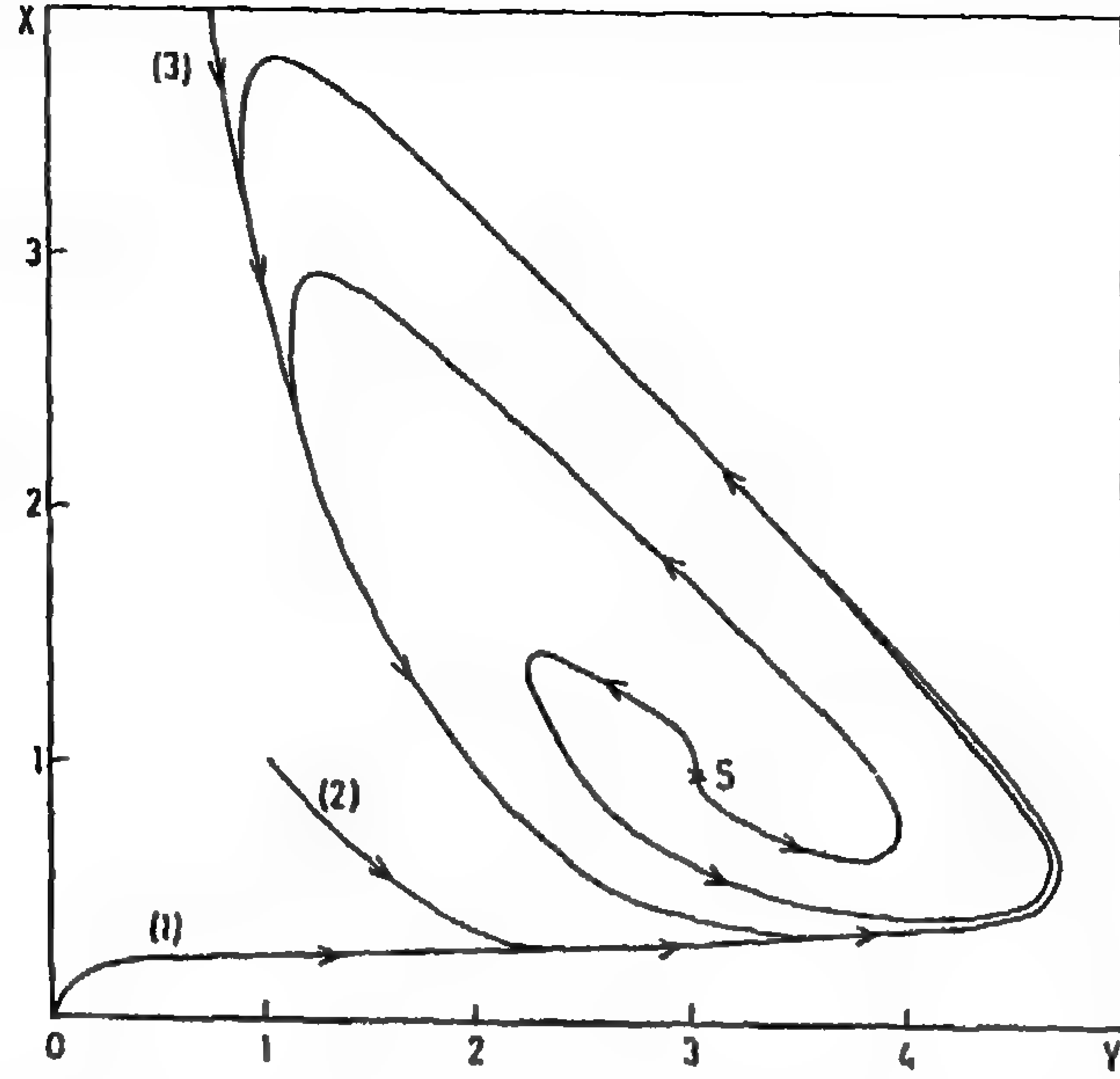




الشكل 6 ـ حالة جاذب نقطي مميز بمتحولين مستقلين X_1 و X_2. إن كل التطورات الممكنة لمنظومة مميزة بقيود ذات حدود معطاة تقود إلى الحالة نفسها. ويمثل الشكل (أ) سلوك منظومة عبر تطورين زمنيين ممكنين لأحد متحولاتها. ويمثل الشكل (ب) التطورات نفسها معبراً عنها بمتحولي المنظومة X_1 و X_2.

إن اكتشاف التحركات المتجانسة بعيداً عن التوازن، مثل «الساعة الكيميائية»، مع دورها الزمني المحدّد بدقة، ينطوي على توسيع أول لمفهوم الجاذب. فالأمر لم يعد يتعلق هنا بنقطة بل بخط جاذب. وفي هذه المرة، وأياً كان الوضع الابتدائي، فإن المنظومة تتطور باتجاه «دور محدود» (شكل 7).

والمنظومة التي تتصف بدور محدود تبقى منظومة قابلة للتقدير ويمكننا وصفها بطريقة بسيطة. لكن لهذه البساطة صفة غير متوقعة. إن بإمكاننا أن نتصور حالة التوازن الكيميائي، وأن نتخيل الطريقة التي تعدل بها سيرورات كيميائية متعددة آثارها المتبادلة، كما تعدل الوفيات الولادات ضمن مجموعة متوازنة ديمغرافياً



الشكل 7 ـ دور محدود ممثل كما في (الشكل 6 ـ ب) في الفراغ المبني بمتحوليه المستقلين الإثنين X و Y: إن كافة التطورات التي تقبلها منظومة ضمن قيود ذات حدود معطاة تقود إلى السلوك الدوري نفسه.

(سكانياً). لكن فكرة أن مليارات مليارات الجزيئات، التي لا تتفاعل إلاَّ بالتصادم، تتحرك مع ذلك «سوية» بحيث أن الوسط التفاعلي يصبح مثلاً أحمر، ثم أزرق، ثم أحمر مرة أخرى، وذلك ضمن دورية من رتبة الدقيقة، فذلك ما يتحدّى الخيال. وما ذاك إلاَّ تجلٍّ مذهل للعلاقات المتبادلة البعيدة المدى التي ناقشناها في الفصل السابق. فكيف نقبل بدون وجود «الساعات الكيميائية»، وأكثرها دراسة تفاعل بلوسوف ـ زابوتنسكي Belousov - Zhabotinsky، بفكرة هذه «البساطة» التي لم تعد تنتج من الهباء الحيادي للسيرورات الفردية، بل من تجانس جماعي حيث تبدو هذه السيرورات وكأنها تشكل كلاً لم يكن مع ذلك موجوداً قبلها؟

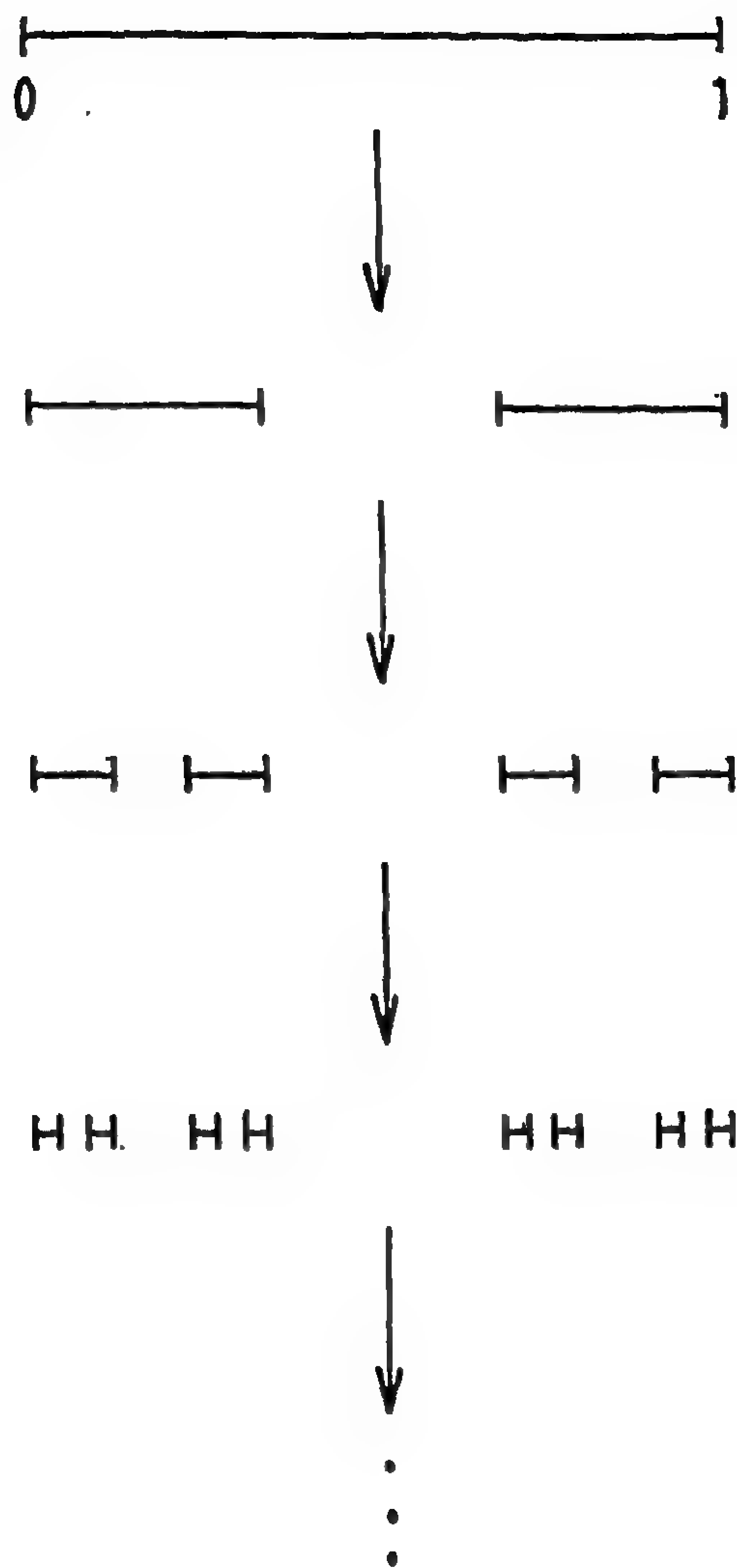
كان يعتقد حتى هذه السنوات الأخيرة أن الجواذب الممكنة الوحيدة كانت توافق تنوعات مستمرة كالخطوط والمساحات والحجوم. لكن اكتشاف «الجواذب الغريبة» فتح آفاقاً وإمكانيات جديدة. فالجواذب الغريبة لا تتصف بأبعاد كاملة، مثل سطر أو مساحة، بل بأبعاد «كسرية». إنها ما ندعوه منذ ماندلبروت[1] Mendelbrot بالتشكيلات القصيمية fractals.

فكيف يمكن لبعد أن يكون جزئياً؟ يحدّد البعد بشكل عام كائناً هندسياً بكل

بساطة من خلال عدد المتحولات الضرورية لموضعة إحدى نقاطه. وهكذا فإن عدداً واحداً سيكون ضرورياً لتحديد نقطة على خط، وعددين على مساحة، وثلاثة أعداد على حجم، إلخ. ومع ذلك فهناك وسائل أخرى أكثر تجريداً لتعريف بعد. لنأخذ مثلاً خطاً طوله سنتيمتر واحد. فإلى كم قطعة سنحتاج لتغطية هذا الخط إذا كان طول القطعة 1/10 سم؟ 10 قطع بالتأكيد. ولكن إلى كم مربع طول ضلعه 1/10 سم سنحتاج لتغطية مساحة مربع طول ضلعه 10 سم؟ 100 مربع. وسنحتاج إلى ألف مربع في الحالة المماثلة لمكعب. وكما نلاحظ فإن البعد هنا يظهر بعرض النتائج: 10، 10^2، 10^3، حيث رفعت 10 إلى قوىً متزايدة. وسنجد هذا التزايد للقوىٰ أياً كان الطول u الممثل لطول القطعة المستقيمة أو لضلع المربع أو لحرف المكعب، وهي الواحدات التي نستخدمها في التغطية. ولن ندخل في التفاصيل التقنية لتعريف هذا النمط من القياس والذي يتضمن أخذ النهاية عندما تنتهي u إلى الصفر. والأمر الجوهري هنا هو أننا عندما نميز كياناً هندسياً بالعدد الأدنى لـ «الخلايا» الضرورية لتغطيته، فإن حساب هذا العدد يعرف البعد كقوة في العلاقة التي تربط العدد N لهذه الخلايا وبعدها u. ويمكننا كذا أن نكتب: $N=(1/u)^d$.

يبدو أننا حتى الآن لم نفعل شيئاً سوى تعريف فكرة بسيطة بطريقة معقدة. ومع ذلك إذا تركنا الكائنات الهندسية أمثال الخط والمربع والمكعب لكي ندرس كائناً قصيمياً فإننا سنفهم خصوبة هذا التعريف الجديد. والمثال الكلاسيكي على القصيم هو «مجموعة كانتور Cantor». لنأخذ قطعة مستقيمة طولها 1. ولنقسمها إلى ثلاثة أجزاء متساوية حاذفين الجزء الأوسط منها. ولنكرر العملية نفسها: لنقسم كلاً من القطعتين المستقيمتين الباقيتين إلى ثلاثة أجزاء حاذفين الجزء الأوسط في كل مرة (شكل 8). إن هذه الخوارزمية يمكن أن تتكرر بشكل غير محدود لتشكل مجموعة غير منتهية وغير قابلة للعد من النقاط غير المتصلة ببعضها بعضاً. ولن يمكن بعد ذلك وصف هذه المجموعة بمصطلحات الطول، لكن تقنية التغطية التي كنا قد عرضناها تسمح مع ذلك بإسناد بعد لها.

فبعد العملية الأولى من الأكيد أن قطعتين مستقيمتين بطول 1/3 ضروريتان لتغطية الكائن الهندسي الناتج. وبعد العملية الثانية يلزمنا أربع قطع طول كل منها 1/9. وبعد العملية الثالثة يلزمنا ثماني قطع بطول 1/27. والعملية رقم n، يكون العدد N من القطع الضرورية مساوياً لـ 2^n، ويكون الطول u لهذه القطع مساوياً



الشكل 8 ـ بناء مجموعة كانتور.

لـ $1/3^n$. وبالتالي فإن البعد d لمجموعة كانتور يعرف عندما ينتهي n إلى اللانهاية و u إلى الصفر بالعلاقة $(3^n)^d=2^n$؛ ومنه ينتج أن $d=lg2/lg3$، أي ما يساوي تقريباً 0,65. كذا يوافق هذه المجموعة إذن بعد كسري يقع بين 0، بعد النقطة، و 1، بعد القطعة المستقيمة.

وبطريقة مماثلة يمكننا بناء فضاء ذي بعدين من أشياء ذات بعد يقع بين 1 و 2. . . إلخ.

تتصف أشياء كثيرة في الطبيعة ببعد قصيمي. وهكذا فإن غيمة[2] ليست حجماً ولا مساحة، بل كائناً متوسطاً يتميز ببعد يقع بين 2 و 3. وتستخدم اليوم الخوارزميات القصيمية على نطاق واسع في الصور التأليفية وتسمح ببناء أشكال كانت تشكل حتى عهد قريب تحدّياً لعين وليد الرسام، وذلك بسهولة و «أمانة» محيرتين.

إن اكتشاف جواذب تتميز بأبعاد كسرية يسمح بنقل النظرة الجديدة التي حددتها قصيميات فضاء الأشكال إلى فضاء التحركات الزمنية. فجاذب قصيمي مثل مجموعة كانتور سيكون بنية فائقة الدقة. إن المسارات التي تشكله تملأ حرفياً قسماً من الفضاء بثنياتها وتضاعفاتها. وعندما نتفحص أحد هذه الانثناءات بدقة كبيرة سيمكننا أن نكتشف فيه بنية جديدة مشابهة للأولى، من الانثناء وتضعفاته من الانثناءات المتلاحقة بشكل غير محدود. وفي حين أن جاذباً عادياً «كان يسود» الفضاء، طالما أن كل المسارات كانت تتلاقى باتجاهه، فإن المسارات التي تشكل جاذباً قصيمياً تشكل تعددية غير محددة.

كان وجود الجاذب حتى عهد قريب مرادفاً للاستقرارية والتكرار والتناسخ: العودة إلى «الشكل نفسه» على الرغم من التشويشات وأياً كانت الخصوصيات البدئية. وتوافق أنماط الجواذب الجديدة تحركات «حساسة للشروط البدئية»، والتي تفقد مفهوم «الشكل نفسه» معناه. ففي كل منطقة، مهما كانت صغيرة، يشغلها جاذب قصيمي تمر مسارات بالقدر الذي نريده، ويشهد كل من هذه المسارات مصيراً مختلفاً عن الآخر. وبالنتيجة فإن أوضاعاً ابتدائية قريبة من بعضها بقدر ما نريد يمكن أن تولّد تطورات متباينة. إن أقل اختلاف وأقل اضطراب، بعيداً عن جعله مهملاً بوجود الجاذب، له بالتالي نتائج كبيرة.

لقد كانت دائماً فكرة السبب بشكل أو بآخر مقترنة بصراحة بمفهوم «الشيء نفسه» الضروري من أجل إعطاء السبب مدى عملياتياً. «فالسبب نفسه ينتج في ظروف متماثلة النتيجة نفسها»؛ و«إذا حضرنا منظومتين متماثلتين بالطريقة نفسها سنحصل على السلوك نفسه...». وحتى عندما يستحضر المؤرخون صلة سببية فإنهم يجازفون بالاعتقاد أنه لو كانت الظروف مختلفة اختلافاً طفيفاً ـ لو كانت الريح قد عصفت بقوة أقل، أو لو كان شخص قد اختار أن يلبس ثوباً مختلفاً ـ فإن الوضع الذي يحللونه ما كان ليتغير في جوهره. وينطبق ذلك على كل وصف وعلى كل

تعريف. فالكلمات كما الأعـداد هي تحديـد منته. إن كـل وصف، أكان شفهيـاً أم رقمياً، يحدد وضعية ليس بما ستكون مطابقـة لنفسها، بـل بما هي تنتمي إلى صف من الوضعيات المتوافقة كلها مع الكلمات نفسها أو مع الأعداد نفسها. وهكذا فـإن فكرة السبب، باستقلالها عن إمكانية ربطها بصف من «المنـظومات نفسهـا، تتقلص بالتالي إلى تأكيد مجرد من كل ميل إدراكي: يحصل ما كان «يجب» أن يحصل».

والحالة هذه، وبسبب خاصيتها في «الحساسيـة تجاه الشـروط البدئيـة»، فإن الجواذب القصيمية، التي تحكمها مع ذلك معادلات تحـديديـة تمامـاً، تطرح هـذه الإمكانية للمناقشة. كيف نصف منظومة في فضـائها التمثيلي؟ بـواسطة أعـداد تمثل قيم متحولات مستقلة تحدد كل حالة ممكنة في هذا الفضاء. وبالتأكيد، كما كنا قد ذكرنا في الفصل السابق، فإن هذه الأعداد نفسها يمكن ألا توافق في الواقع إلاّ قيماً متـوسطة، ولكن في حـالة الجـواذب القصيمية يجب أن نتـذكر من جهـة أخـرى أن الوصف بواسطة الأعداد لا يمكن أن يكون له سوى تحديد منته: فما يمكن للأعداد أن تحدده ليس نقطة، بل منطقة صغيرة من الفضاء، وهي تكون أكثر محدودية كلما كانت متتالية الأعشار أطول. إن كل النقاط المتضمنة في هذه المنطقة تشير إذن إلى المنظومات «نفسها»، لكن هذه المنظومات «ذاتها» لن تشهد مصيراً متلاقياً إذا كانت مميزة بجاذب قصيمي. فهي تنتمي لمسارات «ستتباعد» على مرّ الزمن.

ونصـل هنا إلى تعـريف السلوك «الهبائي»، وهـو سلوك نموذجي للمنـظومات المميزة بجاذب غريب. ويكون سلوك ما هبائيـاً إذا كانت مسارات ناشئـة عن نقاط متقاربة بقدر ما نـريد في فضـاء المراحـل تتباعـد عن بعضها بعضـاً على مرّ الـزمن بشكـل أسي. وهكذا فـإن المسافـة بين نقطتين لا على التعيين تنتميـان لمثـل هـذه المسارات تزداد بشكل متناسب مـع تابـع $e^{1/\tau}$، حيث $1/\tau$ ، وهو موجب بالتعـريف بـالنسبة للمنـظومات الهبـائيـة، هـو «أس ليـابـونـوف Lyapounov» و τ هـو «زمن ليابونوف».

ويسمح زمن ليابونوف بتحديد «سلم حقيقي للزمن»، سلم الزمن الذي يحفظ بالنسبة له تعبير «المنظومتان نفسهما» ـ منظومتان موافقتـان للوصف البدئي «نفسـه» ـ معنى فعلياً وحقيقياً. وبعد زمن تطور طويل بالنسبة لزمن ليابونوف تفقد المعرفة التي كانت لدينا عن الحالة البدئية للمنظومـة ملاءمتهـا ولا تسمح لنـا بعد ذلـك بتحديـد مسـارها. وبهـذا المعنى تتميز المنـظومات الهبـائية بـ«أفق زمني»، يحـدده زمن

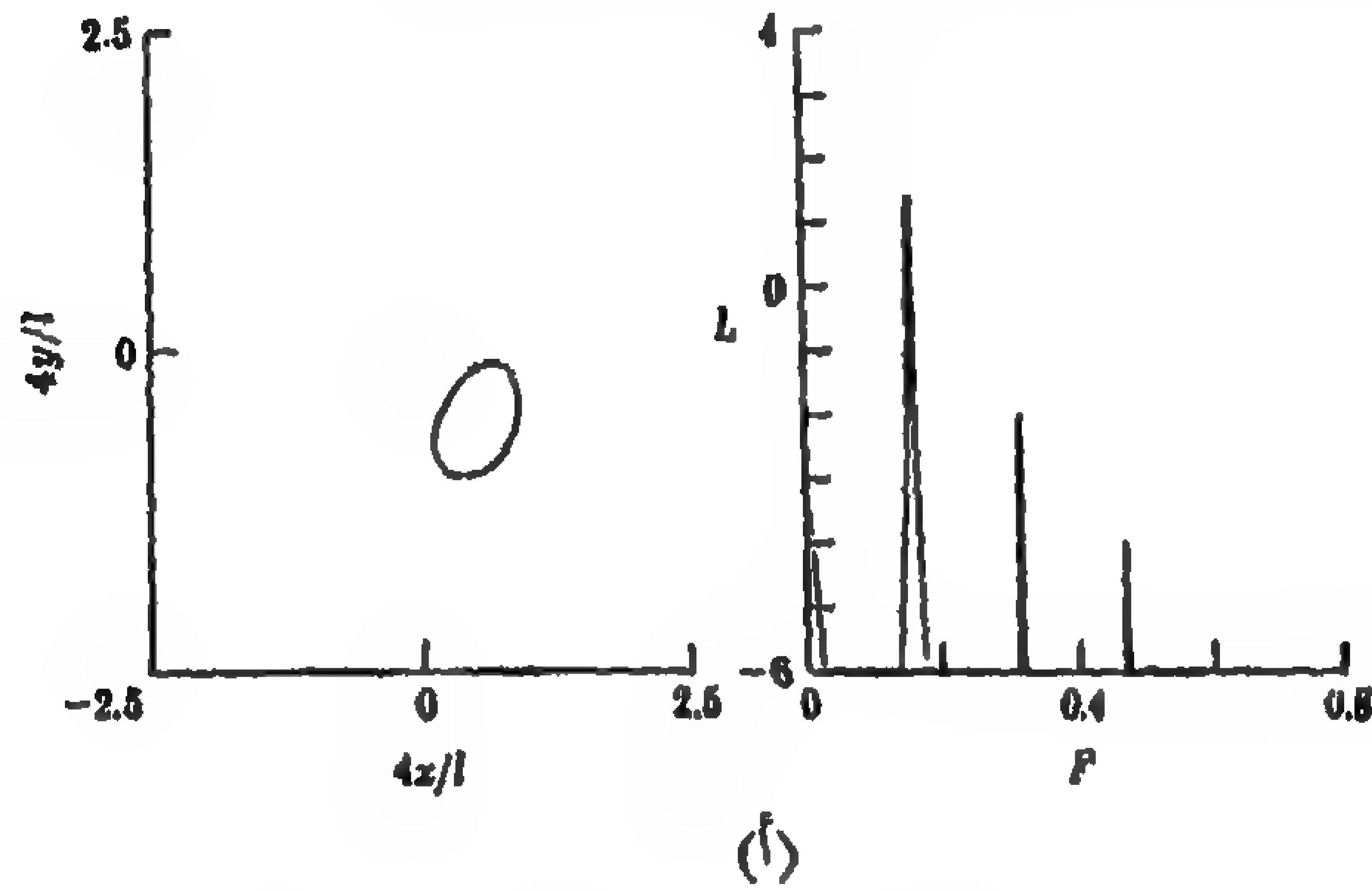
ليابونوف، أفق يمتكننا عند الإقتضاء نقله إنما ليس حذفه. وفي الحقيقة لو أردنا، من أجل مثل هذه المنظومات، مدّ الزمن الذي نستطيع التنبؤ خلاله بمسار ما، بزيادة دقة تحديدها وبالتالي بتقليص صف المنظومات التي نعدها أنها «نفسها»، فإن الثمن الذي سيكون علينا دفعه سيكبر بسرعة بحيث لا يمكن قياسه: وهكذا لكي نضاعف الزمن عشر مرات، الذي نستطيع خلاله الحفاظ على إمكانية التنبؤ بالتطور ابتداء من الشروط البدئية، فسيكون علينا أن نزيد دقة تحديد هذه الشروط بمعامل e^{10}. . . وكأفق حقيقي، فإن الأفق الزمني للمنظومات الهبائية يميز إذن بين ما نستطيع أن «نراه» من موقعنا والماوراء ـ أي التطور الذي لا نعود قادرين على وصفه بعبارات سلوك فردي إنما بمصطلحات سلوك زائغ مشترك بين كل المنظومات المميزة بالجاذب الهبائي[3].

لقد اكتشف الفيزيائيون والرياضيون خلال السنوات الأخيرة المنصرمة عدداً وافراً من المنظومات الهبائية وحدّدوا عدداً معيناً من «الدروب» باتجاه الهباء. ولن ندخل هنا في التفاصيل التقنية، وسنكتفي بتقديم مثال بسيط بشكل متميز طالما أنه يعتمد على الأداة القابلة للتنبؤ والتحديدية بامتياز، ألا وهي النواس[4].

لنأخذ نواساً ضعيف التبدّد (تتخامد حركته إذا لم يكن ذا دفع مستمر). وهذا النواس كروي الشكل، فلثقله حرية الحركة النوسانية ليس وفق خط منحن بل وفق مساحة كروية. وبدلاً من أن يكون معلّقاً بنقطة ثابتة فإن خيط النواس يعلق بحامل ينتقل دورياً إلى الأمام والوراء.

إن تفرُّعاً أول يظهر عندما نعطي لـ T، فترة النوسان الأسري، قيمة مساوية لـ $0,989T_O$ حيث T_O هي الدور الخاص بالنواس الحر. وبدءاً من هذه العتبة تكف حركة النوسان المستوي عن كونها مستقرة في حين يصبح نمطان نوسانيان غير مستويين مستقرين، يعتمد أحدهما النواس. ويحدث تفرع ثان من أجل $T=0,99887T_O$: وعندها تكف الحركة النواسانية عن كونها حركة بسيطة وتظهر نوسانات بطيئة ذات أدوار طويلة. وعندها فإن النواس لا يرجع إلى الوضع نفسه، بالنسبة لنقطة ارتكازه، إلاّ كل ستة أدوار تقريباً (شكل 9 ـ أ). وتظهر تفرعات جديدة أيضاً مضيفة توافقيات تحتية للتواترات الأساسية ومضاعفة فترة انتقال الحركة (شكل 9 ـ ب وأ). وأخيراً عندما يأخذ دور النواس T القيمة $1,00234T_O$، فإن كل انتظام يختفي. إن أي تواتر خاص لا يميز بعد ذلك الحركة التي أصبحت زائغة

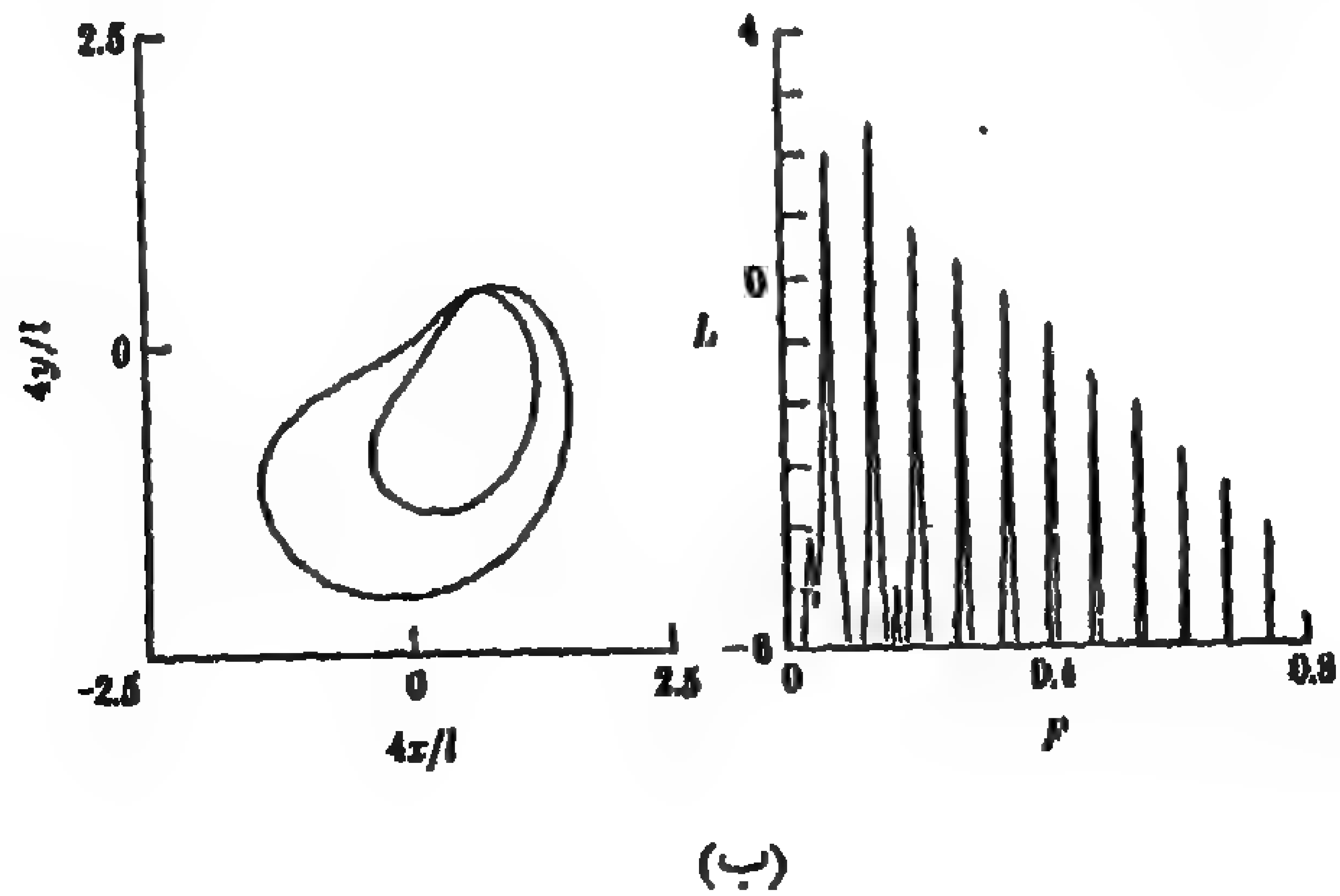
تماماً. لقد نسي الاختيار الذي تمّ عند أول تفرع: فالمنظومة تمر من أحد نمطي السلوك إلى الآخر. وتتالي الانتقالات بين هذين النمطين احتمالي ويتغير بطريقة متقطعة تبعاً للشروط الابتدائية (شكل 9 ـ د). كذا فقد حصّلت الحركة النوسانية، التي ولدها مع ذلك تزاوج بين حركتين محددتين ـ الحركة الخاصة والحركة التي فرضت عليها بانتقال نقطة تعليق النواس ـ سلوكاً هبائياً.



(أ)

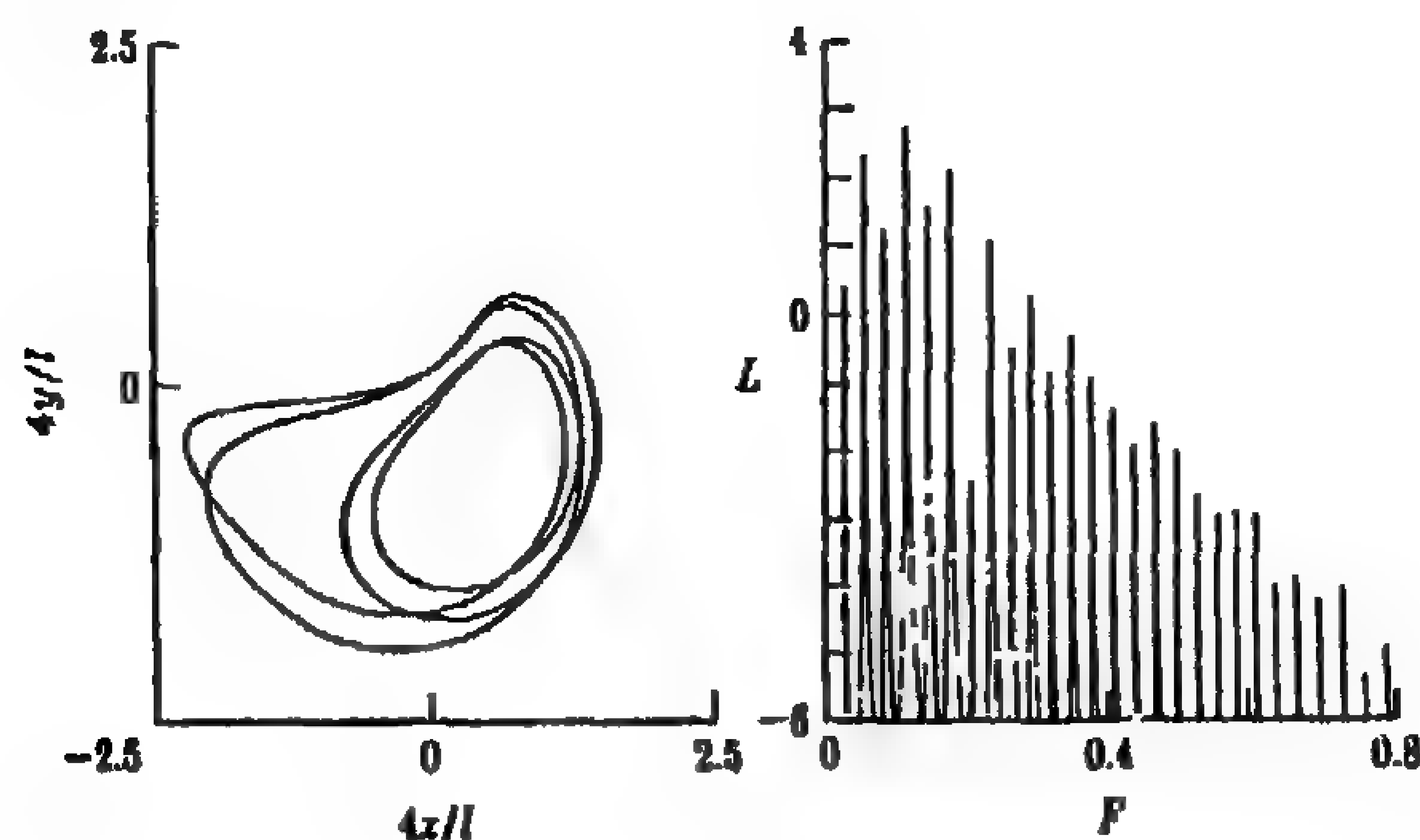
الشكل 9 ـ سلوك نواس كروي دوره الخاص T_0، من أجل أدوار مختلفة T من الحركة التي تخضع لها نقطتها الثابتة (عن ميلس Miles[4]). وتتم هذه الحركة ذات السعة l باتجاه محور السينات. ويمثل المخطط الأيسر في المستوي (y,x) تغير سعة الجزء النوساني للنواس الذي يوافق الحركة المفروضة. وفي حالة نوسان بسيط، مستو أو غير مستو، يختزل هذا المخطط إلى نقطة. ويمثل المخطط الأيمن طيف تواترات الحركة النوسانية: إن اللوغاريتم L للكثافة الطيفية يمثل كتابع لـ F، العلاقة بين التواتر والتواتر الخاص للنواس.

الشكل 9 ـ أ: الدور $T = 0,9922T_0$؛ النواس اعتمد أحد نمطي النوسان المعقد الممكنين (الثاني متناظر مع الأول بالنسبة للمحور x).



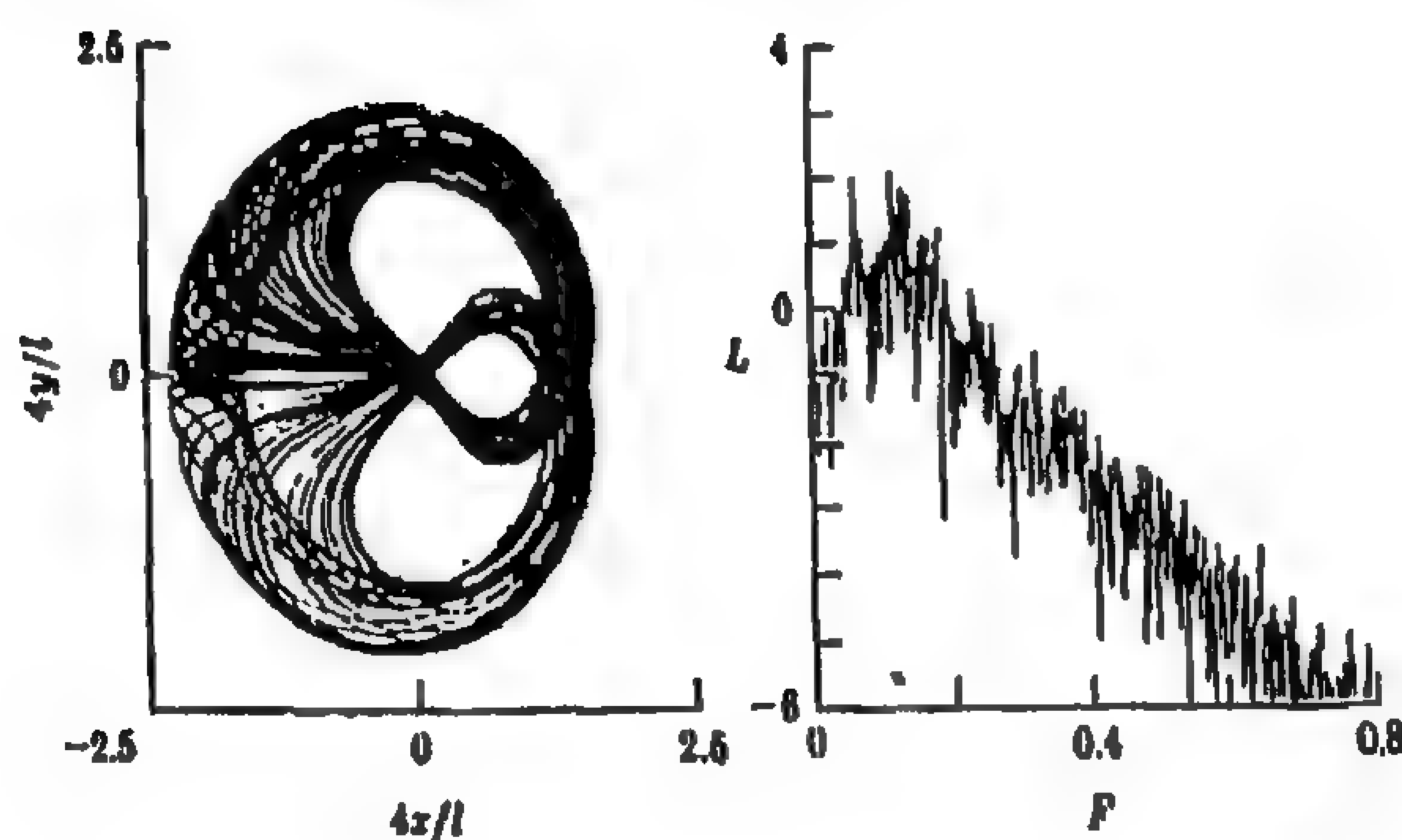
(ب)

الشكل 9 ـ ب: $T=1,00156T_0$.



(ج)

الشكل 9 ـ ج: $T= 1,00222\,T_0$.



(د)

الشكل 9 د: $T=1,00234T_0$.
أصبحت حركة النواس هبائية وهي تنحصر خلال فترات مختلفة الطول في أحد نمطيها الممكنين.

إن تغيّر حركة دورية إلى سلوك هبائي ظاهرة عامة. وهي تؤثر أيضاً بالمنظومات ذات التبدّد الضعيف، مثل النواس الذي وصفناه، تماماً كما تؤثر بالمنظومات الكيميائية المبدّدة البحتة، مثل تفاعل بلوسوف ـ زيبوتنسكي: ففي هذه الحالة أيضاً، وبعيداً عن التوازن، يفقد السلوك الانتظام الذي كان يسمح بالتحدث عن «الساعة الكيميائية» فيما يخصّه، ويصبح هبائياً. وهكذا تتلو وبشكل غير متوقع إمكانية التنبؤ بسلوك منتظم تولده سيرورات أولية متعددة اللاتنبؤية المعقدة لنشاط «جمعي» مضطرب، وهي المعاكس نفسه للفوضى الساكنة التي كانت تسمح في حالة التوازن بتحديد قيم متوسطة مستقرة بالنسبة للتغيرات.

لقد رأينا كيف يغير وجود منظومات هبائية مفهوم اللاتوقعية، ويحرره من فكرة جهل جائز كانت معرفة مثلى لتكفي لتجاوزه، ويعطيه معنى أصلياً. لكن ما الذي يعلمنا به اكتشاف الجواذب الهبائية فيما يخصّ الوصف الاحتمالي الذي نستخدمه من أجل وصف الظاهرات التي نعجز عن التنبؤ بها بطريقة تحديدية؟ هل يمكن لمفهوم السلوك الشواشي أن يساعدنا على أن نفهم بشكل أفضل هذه المنظومات، وبخاصة سبب عدم مقدرتنا على التنبؤ بسلوكها الزمني؟

من المؤكد أن الاحتمالات في كثير من الأحيان تعبر عن جهل: فمعاملات كثيرة تدخل في الاعتبار في حادث ما لكي نستطيع التنبؤ به. وكذا هو الأمر مثلاً بالنسبة للاحصائيات المتعلقة بأحداث مثل الزواج والطلاق والموت والولادة، إلخ. إن كلاً من هذه الأحداث هو نتيجة تاريخ لا يمكن للمعطيات الرقمية إلاّ أن تجهلها.

ومع ذلك هل الأمر هو هكذا على الدوام؟ لنأخذ مثال المناخ. إن كلاً منا يعرف بالتأكيد أن المناخ هو نتيجة ظروف متعددة. ويستتبع وجود مناخات محلية، وتغيرية المناخ تبعاً للوضع البيئي، ودور التضاريس، إلخ، أن التغيرات المناخية تدمج متحولات متعددة. ومع ذلك فإن المناخ يطرح مسائل أخرى. فنحن نعلم أن المناخ الأرضي العام شهد تغيرات هائلة لعبت دوراً أساسياً في تاريخ الأرض. وهكذا كان المناخ منذ نحو مئتي أو ثلاثمائة مليون سنة ألطف بكثير ممّا هو عليه اليوم، إذ لم يكن عملياً ثمة جليد على القارات، وكان مستوى المحيطات أكثر ارتفاعاً ممّا هو عليه اليوم بثمانين متراً. ومنذ الحقب الثلاثي فقط، منذ نحو أربعين مليون سنة، أخذ التضاد يزداد بين حرارة القطبين وحرارة المناطق الاستوائية، ممّا أدّى إلى تغيّر عميق لنظام التبادل الحراري بين خطوط العرض القريبة من القطبين وتلك القريبة من خط الاستواء ممّا أدّى إلى توسيع الظاهرة. وإنه لمن غير الضروري التذكير بسلسلة العصور الجليدية التي ميّزت الحقب الرباعي. ومنذ نحو سبعة آلاف سنة، وبعد تراجع الجليديات، شهدت الأرض ما ندعوه غالباً «المناخ الأمثلي»: إنه العصر ـ الذي انتهى منذ نحو ثلاثة آلاف عام، في بداية العصر الحديدي ـ الذي شهدت فيه الصحراء الكبرى زراعة مزدهرة. فكيف نفسر هذه التغيرات الكبرى على المدى البعيد؟ وهل يجب أن نلتمس من أجل فهم هذه الظاهرة أسباباً خارجية من نمط تغير دفق الطاقة الشمسية مثلاً؟ أم يجب أن نهتم

بتغيرات هبائية تولدها ديناميكية شاملة من نمط التغيرات التي وصفناها أعلاه؟

إن التعرف بين الظاهرات التي تبدو كظاهرات اتفاقية على الظاهرات التي يمكن أن يكون قد أنتجها جاذب هبائي لهو أمر بالغ الأهمية بالتأكيد. لنفكر مثلاً بمسألة تأثير الإنسان على البيئة وهي مسألة أساسية اليوم. فلكي نفهم طبيعة ومدى هذا التأثير من الضروري أن نفسر الأنماط الأصلية لسلوك هذه البيئة، وأن نميز التغيرات التي ترجع لأسباب محددة والتغيرات التي تنتج احتمالياً عن ديناميكية أصلية. ولكن كيف نتعرف على وجود جاذب هبائي؟

أي نمط من المعرفة يتهيأ لنا عادة؟ إننا نجهل تماماً في غالب الأحيان هوية وعدد المتغيرات التي تنظم الجاذب الاحتمالي. ولسنا نملك في الحالة العامة سوى متتالية زمنية من القياسات المتعلقة بمتغير وحيد. ففي حالة التغير المناخي على المدى البعيد مثلاً يمكن لعلماء المناخ أن يعيدوا تشكيل سلسلة لقيم درجات الحرارة في منطقة ما من الأرض. وبالتالي فإن المسألة التي تواجهنا هي المسألة المعاكسة للتي تطرح عادة على الرياضيين. ويمكننا أن نستنتج من التطور الناجم عن منظومة من المعادلات تطور أحد متغيراتها على مرّ الزمن (أنظر مثلاً الشكل 6 ـ أ). ويتعلق الأمر هنا باستخدام سلسلة زمنية من القيم لمتغير كما لخط يمكننا انطلاقاً منه تعلم فك رموز نمط الآلية التطورية التي تمثل هذه السلسلة النتيجة الاحتمالية لها.

إن التعرف على جاذب نقطي ابتداء من مثل هذه السلسلة ليس صعباً. فالسلسلة ستتطور نحو قيمة محددة ستبقى ثابتة فيما بعد على مرّ الزمن. والتعرّف على دور محدود أمر يسير أيضاً. وفي هذه الحالة ستعتمد السلسلة مسلكاً دورياً يمكن التعرّف عليه بسهولة بواسطة المناهج الكلاسيكية. لكن سلسلة ولدها جاذب هبائي قصيمي البعد لا تظهر أي دورية من هذا النوع. ومع ذلك، يمكن كشف مثل هذا الجاذب وتمييز بعده القصيمي، والعدد الأدنى من المتغيرات المستقلة التي يتضمن تحديدها، وحد التوقعية للسلوك الهبائي المقدّر.

لنلخص هنا دون الدخول في التفاصيل الرياضية المنهج المقترح بواسطة غرسبرغر Grassberger وبروكاسيا Proccacia[5]. إننا نملك إذن معلومات تخصّ متغيراً واحداً. والقيم التي أخذها هذا المتحول X خلال الزمن محددة بعلاقاته مع متغيرات أخرى نجهل ليس فقط طبيعتها بل وعددها. ونعلم أن معادلة ذات n

متحول يمكن عموماً إعادة كتابتها كمعادلة ذات متحول وحيد إنما ذات أس أعلى، وعندها لا يعود سلوك المنظومة محدداً بالقيم الابتدائية لمتحولاته ذات العدد n، بل بالقيم الابتدائية للمتحول ولمشتقاته المتتالية وعددها n أيضاً. ونحن لا نملك بالتأكيد هذه القيم الابتدائية، ونجهل قيمة عدد المتحولات n، لكننا نملك بالمقابل سلسلة زمنية سنستخرج منها d سلسلة جزئية. وستشتمل كل من هذه السلاسل الجزئية، مثل السلسلة الأصلية، على قيم لـ X متساوية البعد في الزمن، إلاَّ أنه سيكون الكل منها كنقطة إنطلاق هذه القيمة في لحظة ابتدائية منزاحة، وهكذا فإن القيمة الابتدائية لمختلف السلاسل ستكون إذن: X_O، X_T، X_{2T}، ... $X_{(d-1)T}$.

ويرتكز المنهج على البحث عن قيمة d و d_c التي من أجلها تكف هذه السلاسل عن أن تكون مستقلة عن بعضها بعضاً وتحدد القيمة d_c البعد n للمنظومة الديناميكية. أما فيما يتعلق بالجاذب فإنه سيشكل مجموعة (قصيمية أو غير قصيمية) ذات بعد أقل من d_c.

فما الذي يحدث لو كانت الظاهرة اتفاقية بحتة؟ إننا سنزيد عبثاً d ولن تنشأ أية علاقة بين قيم السلاسل الجزئية. ويكون عندها بعد المنظومة وبعد الجاذب لانهائيين اتفاقاً.

فكيف يكون الأمر إذن بالنسبة للتغير المناخي الذي ميّز تاريخ كوكبنا؟ لقد درس ج وك نيكوليس G. et C. Nicolis سلسلة درجات الحرارة التي يمكن أن تُستنتج ابتداء من نسبة الأكسجين النظيري في الرسوبيات (المستخرج والحالة هذه من المنطقة الاستوائية في المحيط الهادىء). ويسمح تحليلهما[6] أن نعتقد بأنها نجمت فعلاً بواسطة جاذب هبائي يتميز بالبعد 3,1. ومثل هذا الجاذب مغمور بالضرورة في فضاء من أربعة أبعاد على الأقل (إذن n=4 هنا). وبعبارات أخرى، تنطوي هذه النتيجة على أن منظومة ذات أربعة متغيرات مستقلة يمكن أن تكفي لتفسير التاريخ «الهبائي» للمناخ الأرضي.

تفتح هذه النتيجة إمكانيات غير متوقعة. وفي الحقيقة يمكن تفسير تغيّر درجة الحرارة على أنه نتيجة عدد كبير من المتغيرات، بدءاً من ملوحة المياه إلى البقع الشمسية والثورانات البركانية، إلخ، بحيث أن كلاً من مئات المتغيرات من هذا النوع يكون هو نفسه خاضعاً لتوزع إحصائي. والحالة هذه فها أن هذا التحليل يشير إلى أن أربعة متحولات مستقلة يمكن أن تكفي لتحديد تغير المناخ الأرضي على المدى البعيد!

كذلك فقد تمّت دراسة سلاسل معطيات مأخوذة من قياسات نشاط الدماغ بواسطة الراسم الدماغي الكهربائي(7). ففي حالة النوم العميق يكون لنشاط الدماغ آثار الهباء التحديدي ويتميز بجاذب قصيمي ذي خمسة متحولات مستقلة. وبالمقابل لا يمكن الكشف عن أي جاذب في حالة اليقظة. فعندما يكون النشاط الدماغي مشاركاً في نظام وجود مفتوح على المحيط يبدو أنه لا يعود بمستطاعه أن يكون ممثلاً كمنظومة مؤكدة ذاتياً ديناميكياً. وأخيراً، في حالة نوبات الصرع، يمكن من جديد كشف جاذب قصيمي، إنما في فضاء يمكن أن يُعرَّف بمتحولين مستقلين فقط! كذا فإن الصرع بعيداً عن كونه قابلاً للمماثلة بسلوك غير منتظم فإنه ليتميز على العكس بـ «انتظام» كبير جداً للنشاط الدماغي... وتظهر «الفوضى العقلية» من وجهة النظر هذه على أنها الوضع المعتاد فيزيولوجياً.

ويمكننا أن نعجب هنا بالطريقة التي يلتقي فيها التحليل الرياضي بتأمّلات فاليري Valéry: فالدماغ هو اللاإستقرارية نفسها، وهو ليس بالتأكيد صدفة، بل ترجمة للدور الذي أسنده التطور البيولوجي لهذا «العضو»، والذي هو دور حساسيتنا الأكثر حدة لأنفسنا ولمحيطنا.

وبكل تأكيد، فإن قيمة التحليل تتعلق بواقع أن المتحول المقاس يحفظ هويته على مرّ الزمن وأن معيار القياس يظل ثابتاً. ولهذا فإن تحليل سلاسل المعطيات الاقتصادية مثلاً يطرح مسائل معقدة جداً(8). لكن مسألة معرفة إذا كانت إيقاعات الاقتصاد يمكن أن تتوضح بمفهوم الهباء التحديدي، وإذا كان ما نعيشه كـ «صدمات» أو «أزمات» اقتصادية خارجية المنشأ لا يتولد بشكل مستقل بواسطة منظومة معقدة فائقة الاستقرارية، هي اليوم في مركز الأبحاث التي يقوم بها الاقتصاديون.

إن دراسة الجواذب تظهر التنوّع الواسع للمنظومات المبدّدة. وفي أحيان كثيرة تتواجد معاً أنماط مختلفة من المنظومات. وممّا لا شكّ فيه أن الأمر هو كذلك بالنسبة للكائنات الحية. فآليات التنظيم الأيضي الكبرى ليست مرصودة بالتأكيد لسلوك هبائي: ونحن نعلم من جهة أخرى أن عدداً منها يوافق نظام نشاط من نمط الدور المحدود. لكن مظاهر أخرى لنشاط المتعضية الحية يصعب للغاية التنبؤ بها. ويمكننا هكذا التعرّف، في الكائن الحي نفسه، على نمط التعارض الذي قاد منذ فترة طويلة إلى التمييز بين العالم السماوي ـ يمكننا اليوم التنبؤ بالموقع الذي

ستصير إليه الأرض خلال خمسة ملايين سنة ـ والعالم تحت القمري، مقر الظاهرات القياسية التي لا يزال من الصعب علينا التنبؤ بها لأكثر من خمسة عشر يوماً.

لنتناول الآن مسألة أكثر طموحاً أيضاً. فحتى هذه النقطة استكشفنا الغنى المتعدد للعالم البعيد عن التوازن، لكن أسئلتنا اقتصرت على نمط المسائل الأكثر شيوعاً عند الفيزيائيين: إذا أعطينا منظومة فماذا بإمكانها أن تعمل؟ ولهذا فإننا لم نعرض بعد للاختلاف الكبير بين الظاهرات الهيدروديناميكية (الديناميكية المائية)، مثل لاإستقرارية بينار (راجع الفصل الثالث)، والسيرورات الكيميائية. فالأولى تختفي عندما يختفي إشراط اللاتوازن. أما السيرورات الكيميائية فإنها تخلق بنى مادية جديدة تشكل بطريقة ما آثار وشواهد قيود تشكلها الخاص. إن اللاعكوسية هنا لا تحدّ بإسناد سلوك انتقالي أو عابر للمادة، بل هي قابلة للإندماج في هذه المادة.

لنأخذ بداية مثال ندف الثلج. فإذا كانت ندفة مشكلة من بلورات منتظمة جداً، بشكل كروي، يمكننا الاستنتاج أنها تشكلت قريباً من التوازن. وعلى العكس، إذا كانت هذه البلورات تظهر بنية ذات تفرعات نامية جداً فإنها تكون قد تشكلت بعيداً عن التوازن: فالنمو كان سريعاً جداً ولم تجد الجزيئات الوقت لكي تنتشر بشكل منتظم على المساحة. وتحل اليوم محل دراسة البلورات المثالية دراسة البلورات الواقعية التي تشكل كل منها، ببنيتها المتميزة (تشوهات، تفككات، إلخ.)، ذاكرة للطريق الذي سلكته أثناء تشكلها. وهكذا فإن خصائص كهربائية ومغنطيسية وميكانيكية وضوئية جديدة يمكن أن تخلق، وهي لا ترجعنا إلى تعريف عام للمادة بل إلى تاريخها.

لكنما النشاط الكيميائي هو الذي يعطي للاعكوسية كل مقدرتها الخلّاقة للبنى. فالجزيئات لا تدمج في كيانها فقط أثر القيود اللاعكوسة لتشكلها، بل إنها تدين بوجودها نفسه لهذه اللاعكوسية. إن بعضاً منها لا يمكن أن يتشكل إلّا في وسط بعيد عن التوازن. والكيميائيون يعرفون ذلك جيداً وهم الذين تلاعبوا دائماً بشروط التفاعل لخلق جزيئات جديدة. إن الكيمياء «تخلق موضوعها» كما كان يقول الكيميائي برثلوت Berthelot، وهذا الخلق يحرض بدوره أسئلة جديدة. فأي تواريخ جديدة ستكون مخلوقات اللاعكوسية هذه قادرة على بنائها؟

إنه بالتأكيد السؤال الملغز لأصل الحياة الذي يطرح ههنا. فهل باستطاعتنا أن نجعل من وصف اللاعكوسية في قلب المادة أحد عناصر تفسير هذا التحوّل الجذري الذي يشكله ظهور الكائنات الحية؟

إن الجزيئات الحيوية الحالية هي الممثلات بقدر ما هي نواتج النشاط الأيضي المبدِّد، التي تنتجها وتنطوي عليها في آن واحد. ولكن كيف هو الأمر بالنسبة لأسلاف هذه الجزيئات الحيوية؟ وكيف نفسر أنها استطاعت أن تتخلق بعدد كبير كاف لكي تتمكن من بدء النمط الجديد من التاريخ الذي باتت تشارك فيه سلالاتها؟ وكيف نفسر الانتقال بين تاريخ من نمط «كيميائي»، حيث تتألف وتنتظم جزيئات إفرادية، وتاريخ «بيولوجي» حيث أصبحت مختلف هذه التأليفات مترابطة، وحيث لم تعد الجزيئات فقط بنى معقدة خاصة، بل ممثلات يرجع وجودها لنشاط ممثلين آخرين ويكون نشاطها ضرورياً لوجود هؤلاء الآخرين؟ كيف نمر من فكرة «الشروط العامة للتأليف»، من نمط الشروط التي يتلاعب بها الكيميائيون، إلى فكرة «المعلومة»، فكرة «الرسالة» التي يشكلها جزيء «من أجل» جزيئات أخرى؟ كيف اكتسبت مختلف الجزيئات الحيوية معنى بالنسبة لبعضها بعضاً؟

يعتقد بعضهم(9) اليوم أن الحياة ظهرت حول المنابع تحت البحرية الحارة التي تكثر على امتداد الخطوط النشطة للقشرة. ويمكن أن تصل درجة حرارة الماء المنبعث من هذه الينابيع بضغط يصل إلى 275 ضغط جوي إلى 350 درجة مئوية، وهو يدخل في تماس مباشر مع المياه الباردة جداً للمحيط؛ إن الأمر يتعلق هنا إذن بوضعية لاتوازن كثيفة، وهي فريدة من نوعها على الأرض. وربما كان مختلف الينابيع الحارة التي تولد وتموت على امتداد هذه الخطوط بؤرة «تجارب» مختلفة ومتعددة، وربما كانت إحدى هذه المداخن الحرارية المائية المتحجرة، المنسية في مكان ما على امتداد أحد الخطوط، هي الموقع المتصحر حيث ولدت الحياة؟ فإذا كان أصل الطريق الذي سلكه تاريخ الحياة غليان المياه المعتمة المتفجرة من المنافذ المائية الحرارية، لكان بإمكاننا القول بحق: «في البدء كان النشاط» ـ الفعالية الكيميائية الكثيفة مولدة الجزيئات المعقدة والمختلفة والمتمركزة حول تشققات القشرة الأرضية حيث الأرض نفسها في صيرورة، يغذيها الإنتاج الهائل للانتروبيا المرافق لهذه الصيرورة. فهل أن الحياة هي إبنة الأرض قبل أن تكون ابنة الشمس؟

غير أن أسئلة أخرى تُطرح. هل بإمكاننا تمييز نمط الجزيئات الذي أمكن أن تنتمي له أسلاف جزيئاتنا الحيوية، هذه الجزيئات المعقدة الأولى التي «اكتسبت معنى» بالنسبة لبعضها بعضاً؟ وبشكل آخر وأكثر تحديداً، هل بإمكاننا تصور آلية تفاعل قابلة لتأليف نمط من الجزيئات القادرة أن تصير «حاملة للمعلومة»، وقادرة كما هي جزيئاتنا الحيوية الحالية على لعب دور خاص في تفاعلات أخرى؟ إن اللاعكوسية كما قلنا تندرج في المادة. فكيف بإمكانها الإندراج بحيث تكون البنى التي تخلقها قادرة على أن تصير ممثلة لتاريخ آخر؟

يبدو أن نظرية المعلومات يجب أن تلزمنا هنا وذلك بمقدار ما تطرح نفسها لتميز بقياس كمي المحتوى المعلوماتي لمتتالية مشكلة ـ كما هي الجزيئات الحيوية الحالية بل ونصوصنا أيضاً ومقطوعاتنا الموسيقية إلخ ـ من «أبجدية» محددة.

يرجع أكثر التعاريف كلاسيكية للمعلومة إلى شانون[10] Shannon. وبحسب هذه النظرية فإن المعلومة تقيس «المفاجأة» التي نبديها عند اكتشاف كل حرف من متتالية. وهكذا ستوافق المعلومة الأكثر غنى متوالية احتمالية تماماً: فقراءة «الإشارات» الـ 99 الأولى لا يساعد عندها في الحقيقة أبداً على التنبؤ بالإشارة المائة. وهذا المفهوم يعيدنا إلى النصوص التي كان يؤلفها القرد الشهير ضارب الآلة الكاتبة الذي تخيله بوريل Borel ضمن فرضية يصعب تصديقها حيث كان يضرب على الآلة فعلاً بطريقة عشوائية تماماً.

فمن ذا الذي كان ليصبر على قراءة «نصوص» أنتجها قرد بوريل الضارب على الآلة الكاتبة، بحثاً عما «يقيم المعنى» أو يعلن إمكانية وجود معنى؟ إن كلاً من هذه النصوص سيكون حدثاً فريداً مختلفاً عن كل النصوص الأخرى! ففي أحدها يمكن أن تظهر صدفة متتالية من الكلمات التي تؤلف معنى ما، لكن هذه المتتالية لن توجد في المحاولة التالية. إن المعلومة بمفهوم شانون لا توضح مسألة هوية أولى «الجزيئات الحيوية»، وذلك ليس أكثر ممّا توضح مسألة معرفة ما هو نص ما ـ الذي ليس فيه أي شيء من متتالية احتمالية بحتة طالما أنه مشرط بأنماط مختلفة من القواعد ويظهر انتظامات إحصائية مميزة. إن 20^{100} متتالية بروتينية مؤلفة من 100 حمض أميني تكون ممكنة قبلياً إذا كان كل من الـ 20 نمطاً من الحمض الأميني له فرصة مساوية في شغل كل من الـ 100 موضع. وبمفهوم شانون فإن هذا يعني أن كلاً من 20^{100} متتالية له محتوى معلوماتي مرتفع جداً، ولكن كيف نفهم أنه في

متتالية غير محددة من هذا النمط أمكن لبعض المتتاليات أن تكتسب معنى؟ فإذا كانت للآلية الأصلية لتشكل أولى الجزيئات الحيوية الصفة الاحتمالية لنشاط قرد بوريل، فإن التاريخ الذي نحاول فهم أصله سيرجع للصدفة البحتة والأكثر لامعقولية. إن تأليف كل متتالية خاصة سيشكل حدثاً فريداً وهو غير مولّد بشكل اساسي.

فلكي يكون لمتتالية أو لجملة متتاليات حظ بالانبثاق من مجموع الإمكانيات المختلفة، وبالتفرد بخصائص «هامة» في هذه الوضعية أو تلك، يبدو من الضروري حصر جمهرة الإمكانات، أي زيادة احتمالية تشكل كل منها.

كيف «نبرمج» عندها القرد الضارب على الآلة الكاتبة لكي يتبع بعض القواعد فلا يضرب أي شيء كان؟ لو كان بإمكاننا أن نحدد مسبقاً «ما» نريد، وما هي «الخاصية الهامة»، لكان بإمكاننا التوجّه للنظرية الخوارزمية للمعلوماتية التي اقترحها شيتين Chaitin وكولموغوروف[11] Kolmogoroff: فقياس المعلومة يكون حينئذ طول البرنامج الذي يجب إعطاءه لحاسوب ـ أو لقرد بوريل ـ لكي يكون هذا الأخير قادراً على تحقيق البنية التي نريدها. وخطأ هذا التعريف افتراضه المسبق بأننا نستطيع أن نحدّد مسبقاً ما لا غنى عنه في رسالة ما. وتلكم هي الحالة بالتأكيد في الرياضيات. ولسبب آخر مختلف تماماً فتلك هي الحالة أيضاً بالنسبة لأعمال شكسبير أو بالنسبة لرباعيات بيتهوفن: فللمعلومة هنا كمقياس وحيد العمل نفسه؛ ولن يسمح أي برنامج أقصر من هذا العمل بإعادة إنتاجه في الحقيقة، بل فقط بتشويهه أو نفيه. ولكن، وبشكل عام، فإن قياس المعلومة كما يقترحه كولموغوروف وشيتين محدود بواقع أنه يُرجع ضمنياً إلى القصد ممّا نطلبه من الحاسوب أن يعيد إنتاجه أو توليده. وبالتالي فإن تعريفهما ليس حيادياً بل يفترض سياقاً عملياتياً تحدد فيه مسبقاً المعاني والعلاقات بين الغايات والوسائل. إنه يستتبع إذن أن التاريخ الذي نحاول فهم ولادته يوجد قبلاً حاملاً للتمييز بين ما هو تشويش وصخب وما هو موافق.

كيف نميز متتاليات وحدات أولية لا تكون احتمالية تماماً ولا تكرارية ويمكنها إذن أن تشكل الجمهرة المتنوعة بما فيه الكفاية والمستقرة بما فيه الكفاية في آن واحد والتي أمكن أن يتطابق فيها الممثلون الأوائل في تاريخ الحياة؟ وكيف «نعلم» القرد ضارب الآلة الكاتبة تقليص الإمكانيات دون أن يدخل قصدية تفترض مسبقاً

التاريخ الـذي نعمل على فهم أصله؟ وكيف يمكن للفعـالية المبـددة أن «ترمـز» في المـادة رسـالـة لا تكـون، بحسب تعبيـر هنـري أتــلان Henri Atlan، بلوريـة ولا دخانية؟

إننا نعرف في الحقيقة طريقـة لتقليص التعدديـة دون أن نعدمهـا. فما نـدعوه «بسلاسل مركوف Markov» لا تنتـج من سيرورة احتمـالية بحتـة ولا من خوارزميـة تحديدية. ففي الحالة الأولى تترك معـرفة بـداية المتتـالية تتمتهـا بشكل غيـر محدد تماماً؛ وفي الحالة الثانية يجب على هذه المعرفـة أن تسمح بـالتنبؤ بها. وفي حـالة سلسلة مركوف فإن كلاً من الحدود التي يمكن أن تتبع حداً أو متتاليـة حدود معـطاة يتميز باحتمال. وبالتالي فإن احتمالات الانتقال تكون قيوداً تشكـل المتتاليـة وتقلص دون أن تعدم «المفاجأة» التي كان يشدد عليها شانون. هـل بإمكـاننا أن نتخيـل آلية «طبيعيـة» للإنتـاج لمثل هـذه السلسلة؟ ذلكم هـو السؤال الـذي قـدم لـه نيكـوليس Nicolis وسوبا ـ رو Subba Rao[12] إسهاماً هاماً.

إن النموذج المقترح يفترض آلية تفاعل تتحول خلالهـا ثلاثـة مركبـات بسيطة الجـزيئات X و Y و Z بين بعضهـا بعضاً. ومن جهـة أخرى فـإن X و Y و Z قـابلة للإندماج في سلسلة كثيفة قيد التشكل. ونفترض أن آلية التكثف هذه تدخل عنصراً منفصلاً: ففي كل مرة يتجاوز فيها تركيز X عتبة محددة فإن مـركباً بسيـطاً X يضاف إلى السلسلة. والأمر مماثل بالنسبة لـ Y و Z. وهكذا فإن تشكل السلسلة يؤلف إذن نوعاً من الذاكرة تدون ما تحدده دفعة واحدة كـ «حادث» مؤثر بالوسط التفاعلي.

لنتصـور أولاً أن التفاعـل بين X و Y و Z يتم قـرب التـوازن، أي أن تجـاوز العتبات يتعلق بالتغيرات الفوضوية، غير المرتبطة، التي تؤثر بالحالة الساكنـة. وفي هـذه الحالـة فإن كـل حلقة من المـركب الكثيف polymère لهـا نفس المقـدار من الحظ أن يشغلها كل من الثلاثة، كما أن كل رمية لقطعة نقود (نمـوذجية) لهـا الحظ بـأن تأتي على كـل من وجهي القطعـة: إن الأمـر يتعلق بسلسلة مـوافقـة للتعـريف بحسب شانون للمعلومة القصوى.

ثمة وضعية أخرى يمكن إدراكها بسهولة. لنفتـرض أن X و Y و Z تشارك في تفـاعل كيميـائي نواس، من نمط «السـاعة الكيميـائية». وفي هـذه الحـالـة ستمثـل السلسلة المشكلة انتـظاماً دوريـاً من النمط XYZXYZXYZ. إن فحص مثل هـذه المتتالية سيشير لنا إذن أنها كانت قد تشكلت في شروط لاتـوازن إلى ما وراء تفـرع

يقود إلى ساعة كيميائية. لكن مثل هذا الجزيء لا يمكن أن يؤخذ كنموذج للجزيء الحيوي، مثله مثل سابقه. وفي هذه المرة فإن التنوّع ضعيف جداً. فالمعلومة ليست «قابلة للانضغاط»؛ وهي تتقلص إلى التعميم بمفهوم كولموغوروف ـ شيتين، حيث نأخذ n مرة المتتالية XYZ (أو متتالية أخرى).

كيف نحصل على متتالية لا تكون احتمالية بحتة ولا تكرارية، متتالية يكون لها نمط التناسخ الإحصائي الذي يميز سلاسل مركوف؟ إن الهباء التحديدي يوافق مثل هذا الوسيط بين المصادفة البحتة والنظام الزائد. والصفة المتقلبة ـ إنما غير الاحتمالية تماماً ـ للنشاط المبدّد الذي يولده جاذب شواشي يمكن أن تندرج فعلاً في المادة على شكل قيود احتمالية تميز سلاسل مركوف. وقد بيّن نيكوليس وسوبا رو أنه إذا كان توليد X و Y و Z مرتبطاً بتفاعل كيميائي مميز بجاذب هبائي (والحالة هذه نموذج روسلر Rössler[13]) فإنه يكون للمتتالية المولودة الصفات الثلاث العامة التي هي صفات سلاسل مركوف، والتي يمكننا توقعها من نص أياً كان، بما في ذلك «النص» الذي تشكله الجزيئات الحيوية التي نعرفها اليوم: وهذه الصفات هي اللاتكرارية، ووجود العلاقات على المدى البعيد، وانكسار التناظر الفضائي، أي تمييز اتجاه قراءة للنص تكون فيه هذه العلاقات ظاهرة.

وفي الحقيقة فإن متتالية من 10000 وحدة تمّ الحصول عليها بالمماثلة يمكن أن تعاد كتابتها باستخدام ثلاثة رموز فائقة موافقة على التوالي لـ ZYX و ZXYX و ZX ممّا يستتبع أنها تستبعد بعض المتتاليات التحتية، مثل الازدواجية XX والثلاثية YXY. ومن جهة أخرى تقترب هذه المتتالية من سلسلة لمركوف من الرتبة الخامسة: فبمعرفتنا لخماسية، أو متتالية من خمسة حروف، تكون لهوية الحرف السادس احتمالية محددة تماماً. ومن بين الاحتمالات الشرطية المحدّدة لظهور حرف مع معرفة الحروف الخمسة السابقة فإن نصف هذه الاحتمالات تقريباً يتضح أنه مساوٍ للواحد. والسلسلة التي يتم الحصول عليها بهذه الطريقة ليست تكرارية لكنها قبلياً غير محتملة إلى أقصى حد. وهكذا، ومن بين كافة المتتاليات المؤلفة من سبعة حروف والتي يمكن أن تتشكل قبلياً (3^7 متتالية، أي 2187)، فإن 21 متتالية فقط تكون محققة فعلياً بالديناميكية الهبائية. ومن الصعب تجنّب المقارنة بين القيود السكونية التي ينتجها اجتماع ديناميكية هبائية مع عتبات منفصلة، ومجموعة «الأسس القواعدية» التي تقيم الاختلاف بين متتالية ضربت

بطريقة إتفاقية بواسطة قرد بوريل ونص حقيقي.

ويبين هذا النموذج المبسّط جداً بالتأكيد أن لاعكوسية النشاط المبدّد يمكن أن تندرج في المادة وأن تحدّد فيها خلق موجود جديد بحق: إنها متتالية ذات تناظر فراغي منكسر، متتالية تكتسب معنى مختلفاً بشكل أصلي، وبشكل مستقل عن مضمونها المحدد، إذا قرأها أحدهم بدءاً من بدايتها أو من نهايتها.

وإذا كنا لنستطيع هنا أن نحاول التحدث عن «نشوء فيزيائي ـ كيميائي» للمعلومة فهذا لا يعني بالتأكيد تقليصاً للتاريخ إلى القوانين الفيزيائية الكيميائية، بل يترجم على العكس الغنى المتعذر تقليصه للعلاقات بين السيرورات والأحداث والظروف التي تكتسب المعنى بعيداً عن التوازن. ذلك أن الأسئلة تبدأ بالتأكيد على هذا المستوى. إن الجزيئات «المركوفية» لا تفسر التاريخ، بل تفسر فقط «الأرض» التي أمكن أن تولد منها. فبالنسبة لمن ستكتسب المعنى «المعلومة» التي أمكن للنشاط الهبائي اللاعكوس أن يكون مصدرها؟ وأي أدوار ستلعب هذه الجزيئات الجديدة، وكيف سينسحب هذا الدور على مصدرها؟ تتبدّى هنا ضرورة نمط جديد للسرد، أي للإبدال بين نمطين للتاريخ.

ولا زلنا في هذا المجال بالتأكيد في خطواتنا الأولى. إنه فصل جديد من تاريخ الكيمياء، لا يزال قيد التحقيق. لقد كانت الكيمياء حتى نهاية القرن الثامن عشر «علم الطبيعة» بامتياز. وكان مختبر الكيميائي المسرح المغلق حيث كان الكيميائي يحاول أن يعيد إنتاج وتغيير وتسريع السيرورات التي كانت تتم في «مختبر» الطبيعة. لربما كانت دراسة ما تستطيعه المادة، عندما توجد آليات تفاعل غير خطية وقيود للاتوازن في آن معاً، ستقودنا إلى استعادة دهشة الكيميائيين الأوائل وإلى بعث الصورة القديمة للكيمياء، علم صيرورات المادة.

لقد كرسنا استكشافنا حتى الآن لاكتشاف المنظومات المبدّدة. وذلك أن الطريق الذي قطع في هذا المجال كان يستحق الوقوف عنده. ومنذ فترة ليست بالبعيدة جداً كان مفهوم حالة التوازن لا يزال يوجه إلى حد كبير أحكامنا حتى أن النشاط المبدّد كان قد طوبق بتطور نحو التماثلية والانتظام. وكان اللاتوازن قد أصبح بالتأكيد، وبخاصة مع الإنتاج الأقل للإنتروبيا، موضوعاً علمياً، لكننا نفهم من بعد حدود مصداقية هذه النظرية: فهي تنتج عن كون قوانين التطور خطية قرب التوازن. والأمر لم يعد كذلك بعيداً عن التوازن، وإننا لنتعرف حالياً على الدور

الأساسي للاخطيات، أكان في إنتاج التجانس المفاجيء لبعض البنى المبدّدة، أو في السلوك المضطرب المفاجيء أيضاً لنظم النشاط الهبائي. وبعيداً عن التوازن تصبح السيرورات غير ممكنة الفهم ابتداء من حالات حيث توازن بشكل وسطي نتائجها. إنها تترابط في أنساق خاصة، حساسة للظروف وقابلة للتحول النوعي، أنساق تسمح بإعطاء معنى لفكرة غير قابلة للتصور: فهم الجدّة دون تقليصها إلى مظهر احتمالي.

كان الترمودیناميك الكلاسيكي قد استطاع الغوص إلى مجالات قريبة من التوازن، إلاّ أنه كان عليه أن يتحول بشكل جذري للدخول في العالم الجديد للسيرورات غير الخطية البعيدة عن التوازن. وقد شهدت علوم أخرى خلال السنوات الأخيرة تحوّلاً مماثلاً. وسنبين على امتداد الفصول التالية كيف أن الديناميكا والميكانيك الكمومي وحتى علم الكونيات تكتشف اليوم هي أيضاً بعد أن سيطر عليها لفترة طويلة مثال المعقولية السكونية دروباً تقودها لمسألة الصيرورة والمستقبل.

والتطور بعيد جداً عن عالم تحكمه قوانين غير زمنية كانت تشكل مثال الفيزياء الكلاسيكية.

إن توحيد المناظير الجديدة التي خلقتها الفيزياء في القرن العشرين في تجانس جديد، ذلكم ما يعرّف ما سندعوه بـ «المرحلة الثالثة» لفيزياء هذا القرن، تلك التي نقف عند عتبتها والتي خصصنا هذا البحث لها.

الفصل الخامس

رسالة الأنتروبيا

لقد استذكرنا في الصفحات الأولى من هذا الكتاب اسمين هما اسما بولتزمان وبرغسون. وذكّرنا بكفاح بولتزمان من أجل إدخال المبدأ الثاني للترموديناميك في الفيزياء الكلاسيكية وبنتيجة هذا الكفاح. فبولتزمان الذي كان مجبراً على الاعتراف بالتضاد الجذري بين التطور اللاعكوس للترموديناميك والقوانين العكوسة للديناميكا اختار الإخلاص للديناميكا، وعرف التطورات التي لا يسمح بها المبدأ الثاني في الترموديناميك ليس، كتطورات غير ممكنة، بل كتطورات غير محتملة فقط. وقد أيّد برغسون هذا الإخفاق. فالفيزياء كما أكّد مبنية من أجل نفي الزمن والوصول بالصيرورة إلى تكرار الشيء نفسه.

ومع الإخفاق المأساوي للأول، والذي شكل نقطة إنطلاق لبناء ميتافيزيائي للثاني، التقى العالم والفيلسوف في نقطة واحدة: فكلاهما كانا يعتقدان أن المحاكمة التي كانا يفكان رموزها في فيزياء عصرهما كانت نهائية، وأن نموذج المعقولية الذي تقترحه الديناميكا الكلاسيكية سيستمر دون أن يظهر فيه شرخ أو نقص. وقد بدا أن المستقبل القريب كان يحققهما طالما أن النسبية والميكانيك الكمومي قد عمقا بالمقدار نفسه كما سبق وقلنا نفي الزمن الناتج عن الديناميكا الكلاسيكية. ومع ذلك لنستمع إلى الإعلان الرسمي الذي قدمه منذ فترة قريبة

السيـر جيمس لايتيل Sir James Lighthill الـذي كان في حينهـا رئيساً لـ International Union of Theoretical and Applied Mechanics: «وهنـا عليّ أن أتـوقف وأتحدث باسم الأخوية الكبيرة لممارسي الميكانيك. إننا واعون جـداً اليوم لمـا قاد إليـه الحماس، الـذي كان يغـذيه أسـلافنا لصـالـح النجـاح المـدهش للميكـانيـك النيوتوني، من تعميمات في مجال التنبؤية (. . .)، والتي نعرف اليوم أنها خـاطئة. إننا نريد أن نقدم اليوم جماعيـاً اعتذاراتنـا بسبب تضليل الجمهـور المثقف بنشرنـا، فيما يخص تحديدية المنظومات التي تتوافق مع قـوانين الحركـة النيوتـونية، أفكـاراً تبين أنها خاطئة بعد عام 1960[1]».

ذلكم إعلان يمكننا القول عنه حقاً إنه مجلجل. لقد اعتـاد مؤرخو العلم على «ثورات» يتم خلالها التغلب على نظرية وتركها في حين تبرز النظرية المنتصـرة. إلاّ أنه من النادر أن يعترف أخصائيو نظرية أنهم أخطأوا خلال ثلاثة قرون تقريباً بـالنسبة لمدى ولمعنى نظريتهم، وممّا لا شكّ فيه أن التجدّد الذي يشهده منـذ بضعة عقـود أقدم العلوم هو حدث فريد في تاريخ العلم. إن التحديـدية التي كـانت تظهـر مثل النتيجـة الحتمية للمعقـولية الـديناميكيـة تجد نفسهـا اليوم وقـد صارت إلى خـاصية مقبولة فقط في حـالات خاصـة. ومذاك اكتسبت الاحتمـالات، التي كان بـولتزمـان ليصمم على جعلها مجرد معنى إضـافي يترجم جهلنـا الجائـز، معنى أصيلاً. ومـع الاحتمالات تنبعث مسألة الانتروبيا.

لنعـد إلى موضـوع لايتيل. لقـد سبق ووصفنا خـلال الفصل السـابق التباعـد «الأسي» للمسارات الذي يؤدي إليه وجود أس ليابونوف الموجب. وقـد ذكرنـا أيضاً مفهـوم «الأفق الزمني»، الـذي إلى ما ورائـه يفقـد وصف سلوك منـظومـة شـواشيـة بمصطلحات مسارات فردية أي معنى. وسنعود إلى هـذه المفاهيم. والمهم هنـا هو أن نشير إلى أنها تـطبق منذ الآن على منـظومات دينـاميكية «بسيـطة»، مثل النـواس الكروي الذي وصفنا تطوره باتجاه الهباء في الفصل الرابع.

إننا نقف هنا أمام نقطة أساسية. وفي الحقيقة، وكما يشيـر لايتيل إلى ذلـك، فإن واقع أن سلوكاً منتظماً يمكن أن يصبح «هبائياً ليس بذاته أمراً جديـداً» ويكفي أن نفكر بالانتقال بين الدفق السيلاني والدفق التدومي. لكن سائلاً ما يشكل منظومة معقـدة جداً مشكلة من جمهـرة كبيـرة من الجـزيئـات المتفـاعلة والتي لا نستـطيـع بالتأكيد أن نأمل بتمييزها بمصطلحات مسارات فردية. وبـالمثل فـإن النموذج الـذي

استخدمه بولتزمان لتفسير المبدأ الثاني في الترموديناميك كان يفترض وجود عدد كبير من الجسيمات. وفي هذه الحالة فإن نموذج المعقولية الديناميكية كان يُلتمس على أنه صحيح بشكل مباشر، لكن الفيزيائي كان يجب في الحقيقة أن يعمل بالتقريب وكان يمكنه بالتالي أن يجعل من اللاعكوسية نتيجة للتقريبات التي كان مقيداً بها.

ولهذا فإن اكتشاف أن منظومات ديناميكية بسيطة، قابلة للمعالجة الدقيقة، يمكن أن تقود إلى حركات هبائية هو ذو أهمية أساسية. ومنذ ذلك الحين فصاعداً لم يعد بالإمكان إيجاد أي منفذ. إن الفيزيائي يستطيع اليوم فك رموز رسالة الانتروبيا.

لماذا الانتروبيا؟ أي مدرس للفيزياء لم يطرح على نفسه هذا السؤال! وكيف نجيب عليه في حين أنه من جهة أخرى كان يتحدث لتوه عن قوانين عكوسة وتحديدية تحكّم الحركة؟ فهل يجب التحدث من بعد عن الانتروبيا كما عن قياس مبني لغايات تطبيقية فقط، تهم المهندسين وتترجم ليس بحثاً عن معقولية بل اهتماماً بالمعالجة والاستثمار؟ لقد أصبح من الصعب أكثر اليوم القبول بهذه الإجابة مع برهان فيزياء الظاهرات البعيدة عن التوازن على الدور البنائي للظاهرات اللاعكوسة. ويمكننا من الآن فصاعداً التأكيد على أن رسالة الانتروبيا لا تهتم بحدود معارفنا أو بملزمات تطبيقية. إنها تحدثنا عن العالم الذي نسكنه والذي نصفه. وهي تحدد القيود الأصلية التي يتجدد انطلاقاً منها معنى ومدى الأسئلة التي يجيز هذا العالم لنا أن نطرحها.

ولكي نحدد التعارض بين أنماط معقولية البارحة واليوم لنأخذ مثالاً بسيطاً. فكلنا نعرف ما يعني اللعب لعبة «الوجه والقفا». فعند كل رمية لقطعة نقدية لا نستطيع أن نحزر على أي وجه من وجهيها ستقع، إلاّ أنها ستقع بشكل وسطي نفس عدد المرات على كل من الوجهين. كذا فإن رمي قطعة النقود يخضع لقانون احتمالي: فكلتا نتيجتيه المحتملتين تتميزان باحتمال يساوي النصف. ولكن يمكننا من جهة أخرى اعتبار أن حركة القطعة تخضع لقانون تحديدي. وفي هذه الحالة فإن الاحتمالية تعزى فقط لجهلنا. فقطعة النقد لا تكون أداة «اختيار صدفوي» إلاّ بمقدار ما لا نعمل على تحديد مسارها.

لنتفحص عن قرب أكثر الشروط الابتدائية، ولنبعد كل ما يمكن أن يعقد الحركة، كاحتكاك الهواء مثلاً. ولنصنع نموذجاً لهذه الرمية بمساعدة حاسوب ممّا

سيسمح لنا بتحديد الشروط الابتدائية بواسطة أرقام تقبل قدر ما نريد من الأرقام العشرية. وعندها فإن حالتين يمكن أن تظهرا لدينا. إن دقة متزايدة يمكن أن تحذف ملاءمة القانون الاحتمالي: وعندها فإننا سنكون قادرين على التنبؤ بأنه من أجل شرط ابتدائي معين سنحصل يقيناً على القفا ومن أجل شرط آخر على الوجه. نستنتج إذن أن مفهوم الاحتمالية لم يكن يتأتى في الحقيقة إلّا من جهلنا. فالاحتمال ـ وهو يفهم عموماً هكذا ـ ليس إذن إلّا تصوراً مساعداً. ومع ذلك فإننا نعرف من بعد أن الأمر ليس بالضرورة على هذا النحو. فثمة حركات نكون قد حددنا بدقة شروطها البدئية، وأدخلنا أكثر فأكثر الكسور العشرية لنموذجها الرقمي، وبدءاً من اللحظة التي تظل فيها الدقة «منتهية» فقط فإن القانون الاحتمالي يبقى صحيحاً. وستبقى لنا دوماً الفرص نفسها برؤية القطعة تسقط على القفا أو على الوجه.

كيف نتمثل هذه الحالة الثانية؟ لنأخذ قطعة مستقيمة. ولنتصور أن كل نقطة قياسية على هذه القطعة توافق إحدى النتيجتين الممكنتين لرمية وكل نقطة صماء النتيجة الأخرى. وأياً كانت الدقة التي نستطيع أن نتوضع فيها على القطعة المستقيمة فإننا لن نستطيع أبداً تحديد نقطة، بل قطعة مستقيمة فقط، وهذه القطعة المستقيمة ستجمع مهما بلغ قصرها نقاطاً قياسية وأخرى صماء. وفي الحقيقة فإن كل نقطة حقيقية محاطة بنقاط غير حقيقية، والعكس صحيح. ولن نستطيع إذن أبداً تحديد شرط ابتدائي يولد بشكل تحديدي إحدى النتيجتين الممكنتين. كذا فإن القانون الاحتمالي يبقى جوهرياً في حين أن القانون التحديدي يتأتى من «أمثلة غير صحيحة».

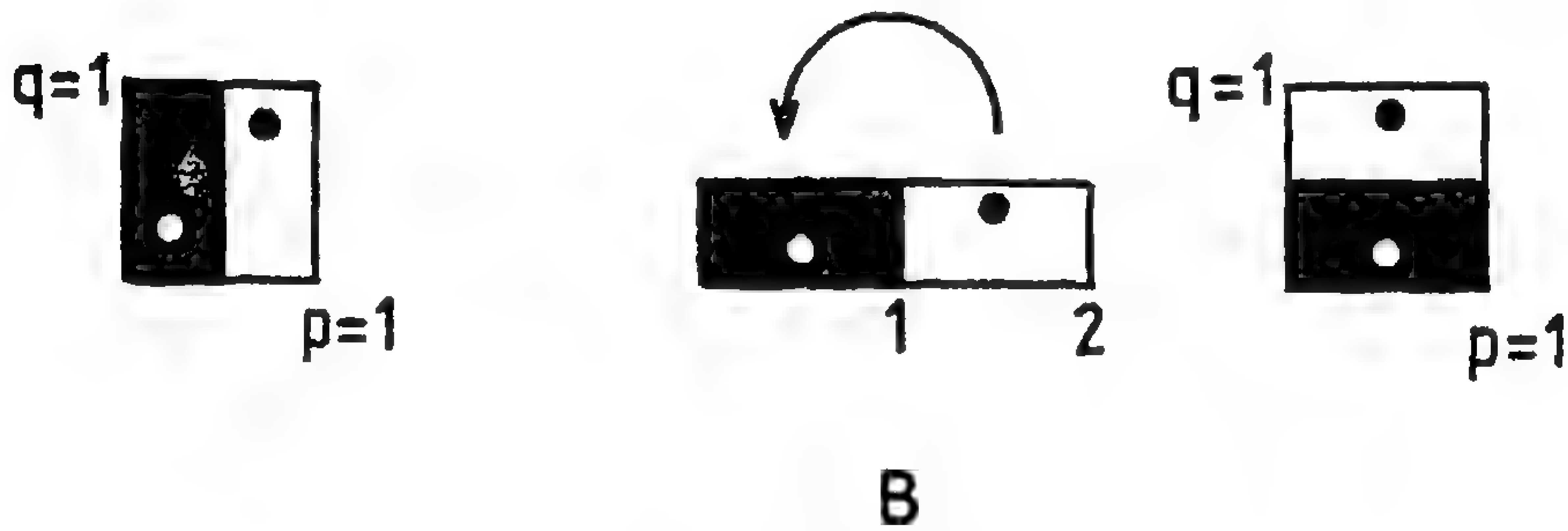
إن التمييز الذي ندخله بين هذين الاستخدامين لمفهوم الاحتمالية، كأداة إضافية أو تصور جوهري، يرجع إلى المسألة التي كان ليبنيز قد طرحها ـ ذكرناها في الفصل الثاني ـ وهي مسألة المرور من حد معرفة ذات دقة منتهية إلى معرفة من نمط إلهي، غير منتهية ولا يمكن أن تعبر عن نفسها بكلمات أو بأرقام. فلكي يشكل مفهوم المسار التحديدي نمطاً لتمثيل واف يجب أن يقاوم ما كان قد عبر عنه بيير دوهيم Pierre Duhem بـ «فيزيائي تقريباً[2]». وكما كنا قد رأينا فإن وصف المنظومات الهبائية بمصطلحات المسارات لا يمكن أن يقاوم الـ «تقريباً»: فكل عدم دقة في التحديد الابتدائي لمثل هذه المنظومات يزداد بشكل أسّي مع مرور الوقت.

فلنحلل عن قرب أكثر هذه التصورات عبر مثال بسيط أصبح كلاسيكياً وهو «تحويل الخباز[3]».

إن تحوّلاً ديناميكياً يمكن أن يوصف كتحول نقطة إلى نقطة أخرى في فضاء «المراحل» للمنظومة المدروسة. فكل حالة ديناميكية ممكنة للمنظومة هي بحسب مثال الديناميكا الكلاسيكية ممثلة بنقطة في هذا الفضاء، وكل تطور زمني ممثل بمسار. إن فضاء المراحل في تحول الخباز ليس له سوى بعدين: إنه مربع طول ضلعه يساوي الواحدة.

وهاكم الآن القاعدة البسيطة التي تعرف تحوّل الخباز (شكل 10): في البداية يسطح المربع ليعطي مستطيلاً قاعدته 2 وإرتفاعه 1/2؛ ثم يعيد النصفان المتوضعان فوق بعضهما بعضاً في هذا المستطيل، تشكيل مربع جديد. وهذا التحوّل عكوس: فالتحوّل المعاكس الذي يمدد المربع بشكل مستطيل قاعدته 1/2 وارتفاعه 2، قبل أن يعيد تشكيل مربع جديد، يعيد بالتعريف كل نقطة إلى وضعها الابتدائي.

ومع ذلك، لو فكرنا بما يعطيه تتالي مثل هذه التحولات لفهمنا أننا أمام مثال على «منظومة ديناميكية غير مستقرة» منظومة لا يستطيع وصفها التحديدي مقاومة قيد «الفيزيائي تقريباً».



الشكل 10 ـ تحويل الخباز.

لنأخذ في الواقع منطقة من فضاء المراحل؛ فأياً كان حجم هذه المنطقة، ومهما بلغت ضآلتها، فسيمكن دائماً تجزئتها من خلال عملية قسمة المستطيل، وسيعاني الجزآن الناتجان بدورهما من نمط التجزئة نفسه. وهذا يعني أن نقطتين متقاربتين بقدر ما نريد في فضاء المراحل ستشهدان في النهاية قدرين مختلفين.

فليس من المدهش إذن أن تحول الخباز يسمح لنا بحساب قيمة دليل

ليابونوف الذي يعد وجوده كما رأينا التوقيع الحقيقي للسلوك الهبائي.

في تحوّل الخباز يلعب الإحداثيان دورين مختلفين. فالإحداثي الأفقي هو «الإحداثي الممدّد»: فباتجاهه يتم تمديد المربع إلى مستطيل. أما الإحداثي العمودي فهو على العكس «المقلِّص»: فباتجاه هذا الإحداثي تتقارب النقاط عند تمديد المربع إلى مستطيل.

وعند كل تمديد تتمدّد المسافة بين نقطتين بمقدار الضعف بحسب الإحداثي المحدد. وبعد n عملية تكون المسافة قد ضربت بمعامل 2^n، أي $e^{n\lg 2}$. إن العدد n من العمليات يقيس الزمن. ومذاك فإن دليل ليابونوف المميز لتحول الخباز قيمته lg2 (بالاتجاه المقلص يوافق دليلاً سالباً له القيمة نفسها).

يحدّد إذن تحوّل الخباز سلوكاً هبائياً، ولكن بخلاف الجواذب التي سبق ووصفناها في الفصل السابق، فإن هذا السلوك يميز منظومة خاضعة لقانون تطور زمني «عكوس».

وإنه لمن المهم أن نفهم منذ الآن لماذا تفقد الاعتراضات التي أثيرت ضد أفكار بولتزمان كل ملاءمة ما أن نتعامل مع منظومة سكونية بدرجة كافية.

كان اعتراضان قد أدّيا لهزيمة بولتزمان: اعتراض «العودة» واعتراض «العكس». ويستند الأول إلى نظرية ترجع لبوانكاريه Poincaré (نظرية «المعاودة») التي ستنتهي دائماً وفقها كل منظومة ديناميكية، بعد زمن طويل بدرجة كافية (زمن بوانكاريه)، بالعودة إلى المرور بقدر ما نريد من القرب من موضعها الابتدائي. ويستند الثاني على تجربة ذهنية؛ فلو عكسنا السرعات فإن المنظومة ستعود بشكل معاكس على المسار الذي قادها إلى الوضع الذي تمّت فيه عملية العكس. وفي الحالتين فإن الوضع الابتدائي لا ينتمي إذن فقط إلى ماض اختفى بشكل لاعكوس، بل وإلى مستقبل ممكن. فاللاعكوسية ليست بالتالي سوى مظهر. ومذاك قبل الفيزياثيون بيان سمولوشوفسكي Smoluchowski: «لو أننا تابعنا مراقبتنا لفترة لا محدودة فإن كل السيرورات ستتبدى عكوسة[4]».

ومع ذلك فإن وجود أفق زمني بالنسبة للمنظومات «الهبائية» مقاس بزمن ليابونوف (هنا 1/lg2) يقصي أي ميل لهذين الاعتراضين. إن زمن بوانكاريه أطول بكثير من زمن ليابونوف. وبالتالي فإننا لا نستطيع من بعد وصف مسار راجع إلى

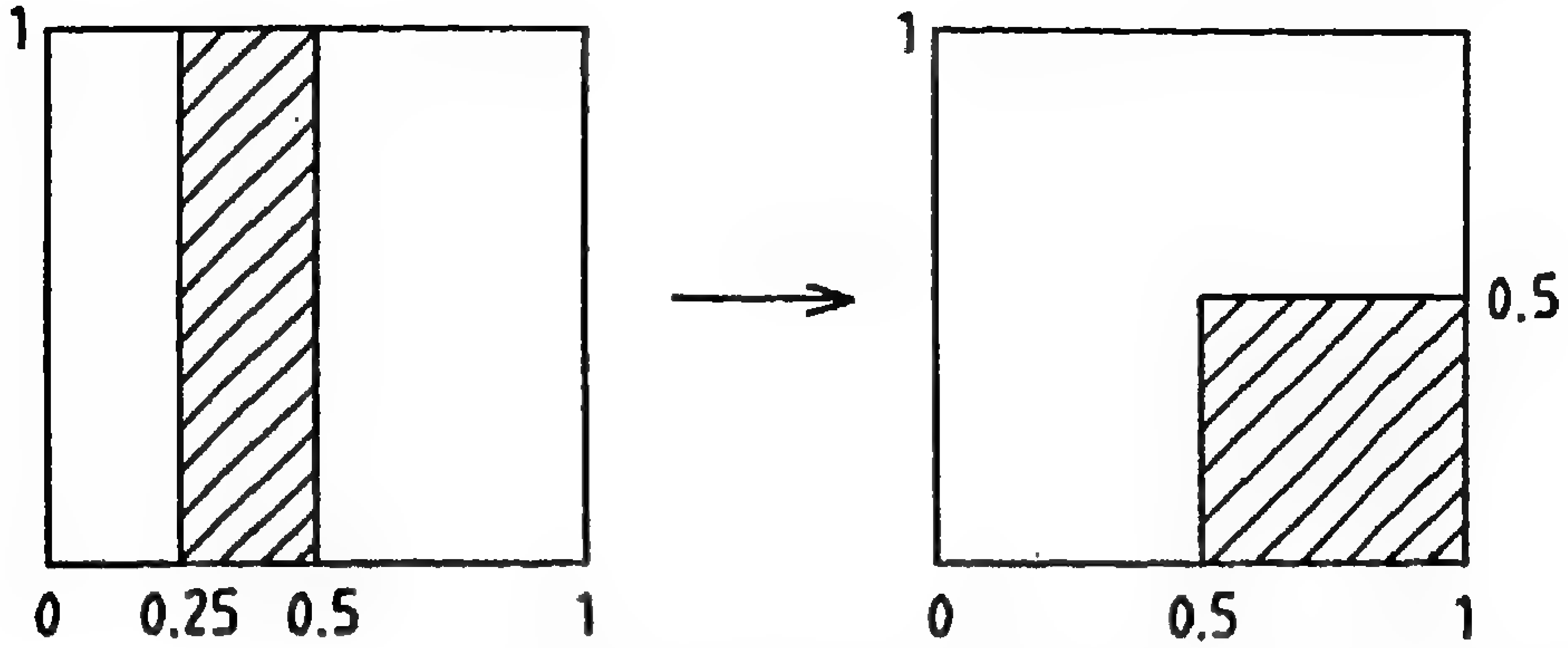
نقطته الابتدائية: فهذه العودة تقع إلى ما وراء الأفق الزمني، في لحظة يكون خلالها مفهوم المسار الفردي قد فقد معناه منذ زمن بعيد. وللسبب نفسه فإن عكساً للسرعات لم يعد قابلاً للتصور حتى كتجربة ذهنية وذلك بعد زمن تطور طويل بالنسبة لزمن ليابونوف. وبالتالي لا يمكن للمنظومات الهبائية أن تُعرّف كمنظومات عكوسة من أجل أزمنة طويلة بالنسبة لزمن ليابونوف. ويتأكد هذا القيد الجوهري - كما سنرى لاحقاً في هذا الفصل - بواسطة حسابات على الحاسوب. وتستخدم هذه الحسابات برنامجاً مؤسساً على منظومة معادلات عكوسة في الزمن وتبرهن الصفة اللاعكوسة للتطور المحدد بهذه المعادلات من أجل أزمنة طويلة بدرجة كافية.

ويسمح لنا تحول الخباز بفهم أفضل لهذه الوضعية. ولكي نحلّله عن قرب أكثر علينا أولاً أن نبين أن هذا التحوّل يمكن أن يوصف بعبارات «انزياح برنولي».

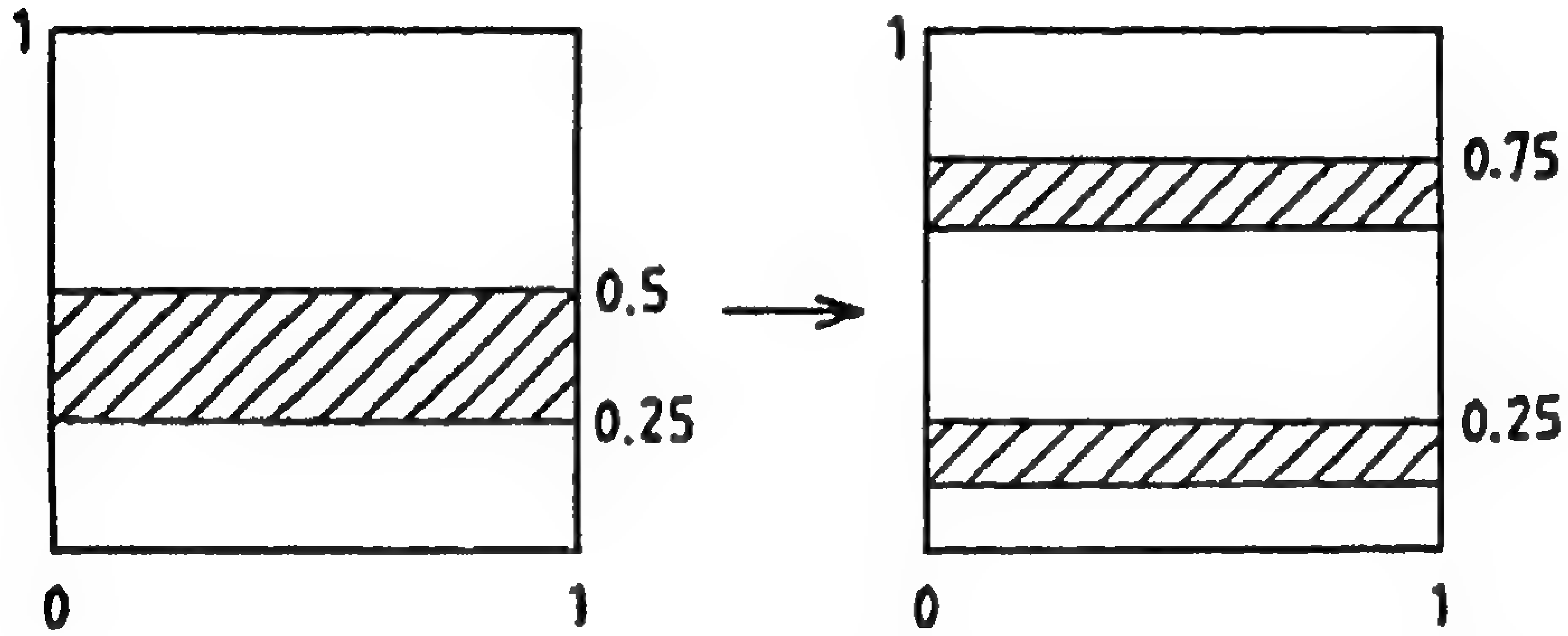
ولكي نفسر هذا المفهوم لنبدأ بتحديد قيمة الإحداثيين، الواقعة بين 0 و 1، واللذين يحددان كل نقطة من فضاء المراحل في تحول الخباز وفق نمط «ثنائي». وعندها فإن كل إحداثي سيمثل بسلسلة من «الأرقام العشرية» (هذا المصطلح غير معبر بالتأكيد) تكون قيمتها إما 0 أو 1.

لنأخذ كل النقاط التي يُرمز للإحداثي الأفقي فيها في النمط الثنائي بعدد يبدأ بـ 0,01. إن القيمة 0 للعدد العشري الأول تنطوي على أن هذه النقاط تنتمي للنصف الأيسر من المربع (الإحداثيات الواقعة بين 0 و 0,5). وتنطوي القيمة 1 للعدد العشري الثاني على إنتماء النقاط للنصف الأيمن من هذا النصف الأول (الإحداثيات الواقعة بين 0,25 و 0,5). لننظر الآن (الشكل 11) أثر تحويل الخباز على مجموع النقاط المحددة بهذا الإحداثي. ستجد كافة هذه النقاط نفسها مجمعة في الربع الأدنى الأيمن من فضاء المراحل. وتتحدد هذه المجموعة الجديدة من النقاط بالقيمة 0,1 من إحداثيها الأفقي (في حين أن الأرقام العشرية الأخرى غير محددة)، بل وأيضاً بالقيمة 0,0 من إحداثيها العمودي. ومن السهل التحقق أننا لو كنا إنطلقنا من نقاط محددة بإحداثي أفقي قيمته 0,11 فإن الجموعة المحولة كانت ستتحدد بقيمة 0,1 من الإحداثي العمودي. وبعبارة أخرى أصبح الرقم العشري الأول من الإحداثي الأفقي (الممدّد) الرقم العشري الأول من الإحداثي العمودي (المقلص).

يبيّن الشكل 12 أثر تحول الخباز على مجموعة النقاط المحددة بقيمة



الشكل 11 ـ تحوّل المنطقة المحدّدة بالقيمة 0,01 من الإحداثي الموسّع.



الشكل 12 ـ تحوّل للمنطقة المحدّدة بالقيمة 0,01 للإحداثي المقلّص.

لإحداثيها العمودي (المقلص) مساوية لـ 0,01. وفي هذه المرة يُنتج التحويل مجموعتين توافقان بالتتالي إحداثياً عمودياً قيمته 0,001 وإحداثياً آخر قيمته 0,101. ومن أجل كل نقطة توافق قيمة الرقم العشري الأول من الإحداثي الجديد المقلص القيمة التي كانت للرقم العشري الأول في الإحداثي الممدّد.

لنمثل الآن كل نقطة بالمتتالية المزدوجة للأرقام العشرية لإحداثييها المرتبة رأساً لعقب: ... $u_3\ u_2\ u_1\ u_0\ u_{-1}\ u_{-2}\ u_{-3}$ ... (يمثل u_0 أول الأرقام العشرية للإحداثي الممدّد، والذي يوافق الإشارات السالبة). وسيمكن للقارىء أن يتحقق بأمثلة بسيطة مثل التي سبقت من أن كل تحول للخباز يمكن أن يُمثل بانزياح بسيط لإشارات السلسلة: فالعشريات «الممدّدة» تصعد إذن صفاً (الرقم العشري الثاني

يصبح الأول) في حين أن العشريات «المقلصة» تنزل صفاً (العشري الأول يصبح الثاني). وبعد أحد التحولات فإن عشرياً u_N من السلسلة الجديدة يأخذ بالتالي قيمة العشري u_{N-1} في سلسلة البداية.

إننا نفهم الآن أصل مصطلح «إنزياح برنولي». وكان موضوع أعمال برنولي ألعاب الصدفة، وبخاصة لعبة الوجه أو القفا التي يمكن لكل تجربة فيها أن تحصل على نتيجتين متساويتي الاحتمال. وتعرف كل نتيجة من هذه النتائج على أنها مستقلة عن النتائج الأخرى. وبالمثل يمكن للعشريات u_n هنا أن تحصل على قيمتين متساويتي الاحتمال، وتكون قيمة كل عشري مستقلة عن كل القيم العشرية الأخرى، كما لو كان قد تمّ الحصول عليها من خلال لعبة الوجه أو القفا.

إن تحوّل الخباز الممثل بعبارات «إنزياح برنولي» يكشف لنا فوراً مثالاً على هذا المزيج الحميم بين مسارات مختلفة نوعياً، والتي كنا قد أشرنا إليها فيما يتعلق برمي قطعة النقود. ونجد في «كل أنحاء» فضاء المراحل نقاطاً توافق إحداثياتها في التمثيل الثنائي متتالية دورية من 0 و1 (ذلك هو حال الأرقام الحقيقية). وهذه النقاط تولد مسارات دورية. أما النقاط الأخرى التي توافق متتاليات غير دورية فستولد مسارات «طاقية» «ستغطي» مجمل فضاء المراحل. فالمسارات الدورية هي بالتالي الاستثناء مثل الأرقام الحقيقية.

ومع ذلك، فإن تحوّل الخباز الممثل هكذا يظهر لنا أيضاً وبشكل فوري لماذا يوافق مفهوما النقطة والمسار التحديدي والعكوس، في حالة منظومات هبائية التي تعطي مثالاً عليها، أمْثَلَة غير شرعية: فلكي نعرف مع أي نمط من المسارات نتعامل علينا أن نصف منظومتنا بدقة غير منتهية موافقة لعدد غير محدود من العشريات.

إن الفيزيائيين لا يستطيعون «التعامل» مع نقطة، بل عليهم أن يأخذوا بعين الاعتبار في وصفهم واقع أنهم لا يستطيعون معرفة منظوماتهم إلاّ بواسطة الملاحظة أو التحضير. ولهذا فإنهم لا يحددون أبداً منظومة بنقطة، بل «بمنطقة» من فضاء المراحل، وبالتالي بمتتالية $u_{-n} \ldots u_{-1} \ldots u_0\, u_1 \ldots u_n$ مميزة بعدد محدود n من العشريات. وتعبر قيمة n عن اتساع «النافذة» التي نطل منها على العالم.

لنأخذ إذن المتتالية $u_{-n} \ldots u_{-1} \ldots u_0\, u_1 \ldots u_n$ التي لا نعرف منها سوى نافذة توافق قيمة n منتهية.

عند التحوّل الأول تكون «العشريات» الأكثر أهمية هي بالتـأكيد العشـريين u_0 و u_{-1}، ويكـون هذان العشـريان مؤهلين خـلال التحوّل التـالي ليصبحـا العشـريين الأولين لكـل من الإحـداثيين الأولين. ولكن العشـري المجهـول u_{-n-1} يكـون قـد احتل منذ هذا التحول الأول الموضع u_{-n}. فلا بدّ إذن من أحد أمرين، إمّا أن نقبل أن نافذتنا تتضيق، أي أن وصفنا يفقد دقته، أو يكون علينا منذ هذه المـرحلة إدخال الاحتمـالات: إذ يمكن أن يكـون للتحـوّل نتيجتـان ممكنتـان، ومتسـاويتـا احتمـال الحدوث.

وخـلال التحوّل التـالي تتقلص من جديـد دقة وصفنـا أو تكـون لـدينـا أربعـة احتمالات متساوية في إمكانية الوقوع. وهكذا دواليك طالمـا أن عشريـات مجهولـة القيمة تتناهى باتجاه u_0. وعندما ينتهي أخيراً عشري مجهول إلى الوضعية u_0، فإنـه سيكون للمنظومـة عندهـا نفس القدر من الحـظوظ لكي تُمثّل بـأي إحداثي ممـدِّد. وبعد $2n+1$ تحول ستوجد المنظومة «في أي مكان كان» وبـاحتمال متسـاو في فضاء المراحل. وفي هذه المرة تكون المعلومة الابتدائية قد اختفت تماماً.

ويذكرنا هذا الوضع بشكل غريب بالوضع الذي يرجح في دراسـة الظاهـرات القياسية، حيث يمكن لتفاصيل مهملة تفلت من المراقبة أن تلعب دوراً هـاماً خـلال مستقبـل بعيد نسبيـاً. وفي الحالتين، وبخـلاف حـركـة الأرض حـول الشمس التي يمكننا التنبؤ بها خلال ملايين السنين، سنجـد حداً أصليـاً للتنبؤ: فما يختبىء اليـوم في ضجيج عمق أرصادنا ومراقباتنا سيظهر غداً أنه يلعب دوراً حاسماً. وبـالتأكيـد، ليس ثمة للزمن القياسي انتظام إنزياح برنولي، وفي حالته لا نستطيـع حتى أن نحدد نمط المعلومـة التي تفلت من إطار «نـافذتنـا» ـ والذي يمكن أن يكـون خفق جنـاح فراشة في مكان ما في حوض الأمازون، أو عطاس أحد سكان مدغشقر.

كان هايزنبرغ في عام 1927 قد لاحظ أن المسألة التي يطرحها قـانون السببيـة (أسـاس التحديـدية) هي بـدرجة أقـل وجود قـانون يمكن للمستقبـل ابتداء منـه أن يتحدد ابتداء من الحاضر ممّا هي في الحقيقة مقدمتها المنطقية، التحديد نفسه لهذا «الحاضر». وتجد هذه الملاحظة هنا كل معناها: «فقانون» التطور للخباز ذو بسـاطة قصوى، لكنه ينطوي، لكي يكون قانوناً لمسار فـردي، على نمط تحديـد للحاضـر خال من المعنى الفيزيائي.

كانت التحديدية تعبر كما ذكـر لايتيل عن اليقينيـات التي غذت خلفـاء نيوتن

ولابلاس ولاغرانج، والذين كانوا بحق فخورين بالعلم الذي كانوا ورثاءه. أما اليوم فقد تغير معنى علمنا. لربما كان بإمكاننا هنا أن نتذكر بطلاً من «اسم الزهرة» لأمبرتو إكو، غيوم بسكرفيل Guillaume Baskerville الذي كان فك رموز العالم بالنسبة له أشبه بالتاريخ البوليسي: إنه لعبة فكرية لا يكون لدينا فيها سوى إشارات ولا نحصل خلالها أبداً على مجمل العناصر.

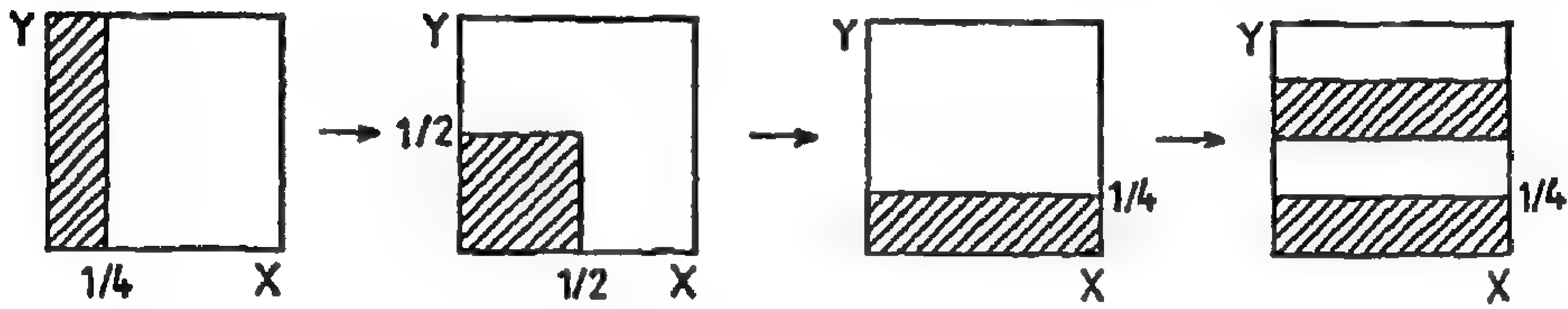
لقد أشرنا بشكل خاص حتى الآن للأبعاد السلبية للهباء الديناميكي، وللضرورة التي يتضمنها في التخلي عن مفهومي المسار والتحديدية. لكن دراسة المنظومات الهبائية هي أيضاً فتح، وهي تخلق ضرورة بناء تصورات جديدة ولغات نظرية جديدة (أنظر الملحق I). إن اللغة الكلاسيكية للديناميكا تتضمن مفهومي النقاط والمسارات، وحتى الآن لجأنا نحن أنفسنا إليهما في الوقت نفسه الذي كنا نبيّن فيه الأَمْثَلَة ـ غير الشرعية في هذه الحالة ـ التي تصدر عنها. والمسألة الآن هي «تحويل» هذه اللغة بحيث تندرج فيها بشكل دقيق ومتجانس القيود التي تعرفنا عليها.

وفي الواقع لا يكفي التعبير عن الصفة المنتهية لتعريف منظومة ديناميكية بوصف الحالة الابتدائية لهذه المنظومة بمنطقة من فضاء المراحل وليس بنقطة. لأن مثل هذه المنطقة الخاضعة للتطور الذي تحدده الديناميكا الكلاسيكية، ستتجزأ عبثاً على مرّ الوقت إذ «ستحافظ على حجمها» في فضاء المراحل. وهذا ما تعبر عنه نظرية عامة في الديناميكا هي «نظرية ليوڤيل Liouville»، إن كل المحاولات ببناء تابع انتروبي، يصف تطور مجموعة مسارات في فضاء المراحل، اصطدمت بنظرية ليوفيل، وبواقع أن تطور مثل هذه المجموعة لا يمكن أن يوصف بتابع يتنامى مع مرور الوقت[5].

والحالة هذه فإن حجة بسيطة تسمح بأن نبين التعارض، في حالة منظومة هبائية مثل التي يحددها تحوّل الخباز، بين نظرية ليوفيل والقيد الذي يوافق كل وصف وفقه «نافذة». ويحدد وجود هذه النافذة «إمكانية حل» بياناتنا: فسيوجد دوماً مسافة r بحيث أننا لن نستطيع التمييز بين نقطتين تكون المسافة بينهما أقل من r وفق الاتجاه العمودي. لنتبع الآن تطور منطقة من فضاء المراحل تشتمل على كافة النقاط الممثلة لمنظومة. فمن تحول إلى تحول ستتقلص هذه المنطقة بحسب البعد العمودي، لكن عندما تبلغ القيمة الدنيا r لن يعود باستطاعتنا تتبع تقلصها ويكون

علينا أن نعرفها بأنها ثابتة (أنظر شكل 13). وفي حين أن نظرية ليوفيل كانت تحدد مساحة هذه المنطقة على أنها ثابتة خلال الزمن فإنها ستجتاح مجمل فضاء المراحل.

ليس كافياً إذن أن نتخلى عن تمثيل منظومة ديناميكية بنقطة في فضاء المراحل. بل يجب بناء «لغة جديدة»، وتعريف جديد لحالة منظومة ديناميكية ولتطورها الذي لم يعد يستلزم مفهوم النقطة ولا الإمكانية التي تتضمنها في نسب مسار محدد تماماً لكل منظومة.



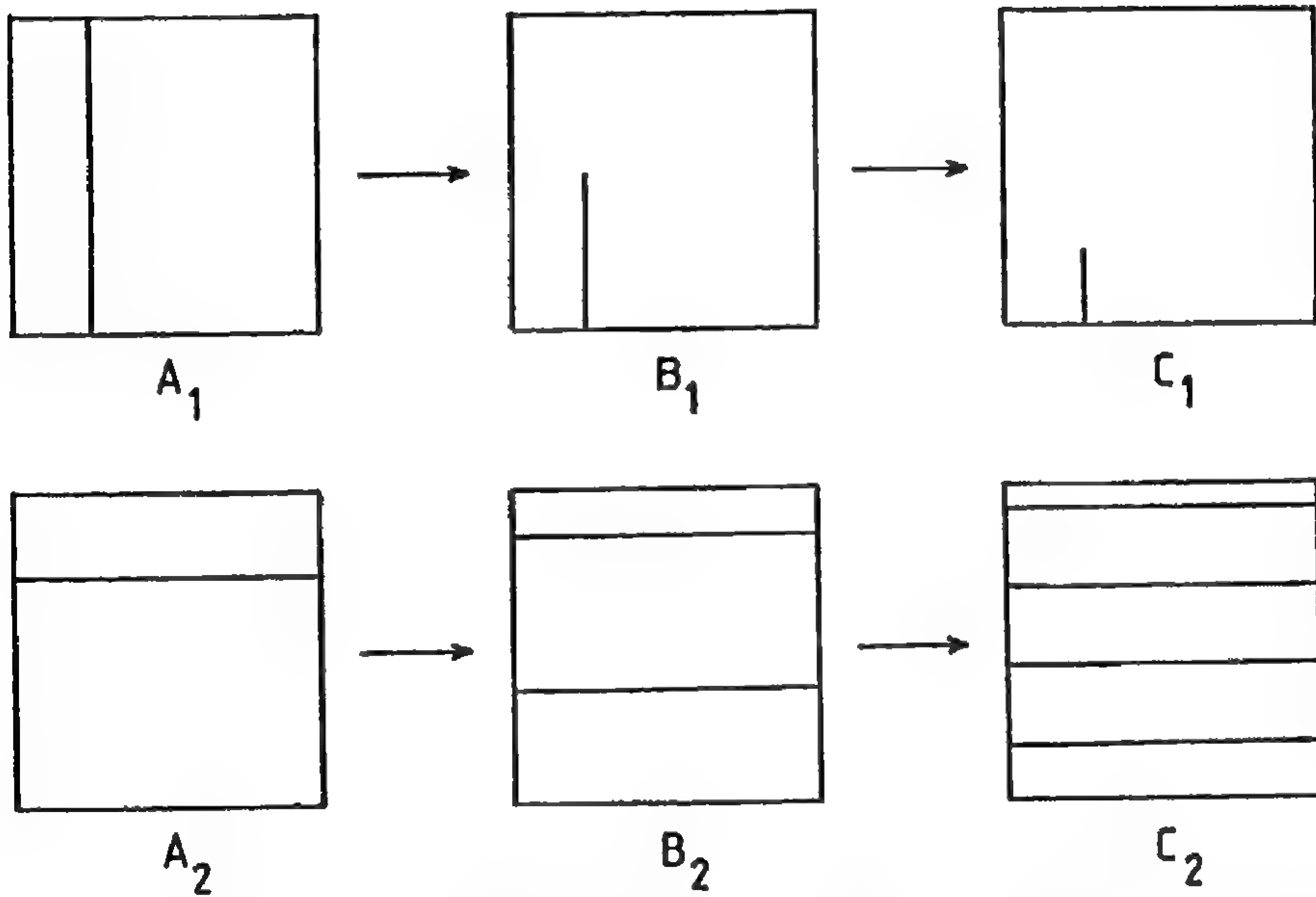
الشكل 13 ـ تطور منطقة من فضاء المراحل عندما تؤخذ بعين الاعتبار المسافة r التي لا نستطيع تحتها إقامة تمييز بين نقطتين متجاورتين بحسب الاتجاه العمودي. هنا r ثابتة بالنسبة 1/4.

إن التمثيل الجديد للديناميكا الذي أدخل خلال السنوات الأخيرة المنصرمة[6] يحيّن، في تعريف الحالة اللحظية، التمييز بين الأبعاد المقلّصة والممدّدة التي تميز المنظومات الهبائية.

ومن السهل أن نستنتج أن تحول الخباز يسمح بتحديد أشياء لا «يحفظها» التحول كما يحفظ المساحات: إنها «الأوتار الممدّدة» و«الأوتار المقلصة». وفي حين أن كل نقطة تتحول إلى نقطة أخرى من خلال تحول الخباز، فإن الأوتار الممدّدة تتضاعف عند كل تحول، في حين أن الأوتار المقلصة تفقد نصف طولها (شكل 14). تتميز هذه الأوتار إذن بنمطي صيرورة منفصلين: فكل النقاط المنتمية لوتر مقلّص تتقارب باتجاه المستقبل نفسه في حين أن النقاط المنتمية لوتر ممدّد ستغطي في المستقبل وبشكل كثيف مجمل فضاء المراحل.

لنأخذ جزءاً من وتر مقلّص. إن مختلف المنظومات التي يمثلها لها بالتعريف مستقبل مشترك. وكل نقاط مثل هذا الجزء تتلاقى. فإذا كان هذا الجزء يوافق قدرتنا على الحل المنتهي r فإنه يحدد مجموعة من المنظومات غير المميزة، «والتي ستبقى غير قابلة للتمييز في المستقبل كله».

ويضع الوصف الجديد للمنظومات الديناميكية الهبائية محل النقطة مجموعة موافقة لجزء وتر مقلص. فالأمر يتعلق إذن بوصف «غير محلي» يأخذ بعين الاعتبار قيد اللاتمايزية الذي عرفناه. لكن هذا الوصف لا يتعلق بجهلنا. فهو يعطي معنى أصلياً للشكل المنتهي لوصفنا: في الحالة التي لا تكون فيها المنظومة الديناميكية هبائية، وحيث تكون قيمة دليل ليابونوف معدومة، فإننا نجد التمثيل الكلاسيكي، النقطي، ولا تؤثر بعد ذلك الحدود المفروضة على دقة قياساتنا على تمثيل المنظومة الديناميكية.



الشكل 14 ـ تطور وتر مقلص (C_1,B_1,A_1) ووتر ممدَّد (C_2,B_2,A_2).

إن هذا التمثيل الجديد «يكسر أيضاً التناظر الزمني». وفي الواقع فإن خيارين كانا ممكنين قبلياً بشكل موافق لوصفين مختلفين. وتمثيل منظومة يحل محل النقطة جزءاً من وتر «ممدَّد» كان ليحدد اتجاه الزمن على أنه الإتجاه الذي كانت نقاط وتر ممدد ستصبح فيه غير قابلة للتمييز. وحيث كانت معادلة تطور واحدة تسمح بحساب التطور باتجاه الماضي أو باتجاه المستقبل لنقاط هي نفسها غير مرتبطة بهذا التمييز، فإنما لدينا الآن بالتلازم معادلتين مختلفتي التطور. وتصف إحداهما تطور منظومة نحو توازن قائم في المستقبل، وتصف الأخرى تطور منظومة نحو توازن قائم في الماضي.

كانت إحدى أكبر المشاكل في التفسير الاحتمالي للتطور باتجاه التوازن أن التمثيل الاحتمالي لا يعطي معنى للتمييز بين الماضي والمستقبل: فقد كان بإمكاننا القول عن حالة متميزة بتوزع احتمالي معطى إنه سيتطوّر نحو التوازن في المستقبل، لكن كان بإمكاننا وبشكل مواز تماماً وابتداء من الحجج نفسها القول إنه كان صادراً عن حالة توازن قائمة في الماضي. إن هذا الوضع هو الذي قاد بولتزمان كما رأينا في الفصل الأول لمماثلة كوننا بتموّج انبثق آنياً ابتداء من حالة توازن ويعود تدريجياً نحو التوازن.

إن الوصف الديناميكي الجديد الذي بنيناه يدمج بالمقابل سهم الزمن في تحديد واحداته (أجزاء الوتر المقلّص) وفي الوقت نفسه في تحديد المعادلة التي تحكم تطورها. إن معادلات التطور الديناميكي تحوز إذن على نمط التناظر نفسه الذي لمعادلات التطور التي تصف المنظومات المبدّدة. وهكذا فإن قانون انتشار الحرارة يصف تطور منظومة باتجاه حالة التوازن الحراري، وليس التطور المعاكس الذي تبتعد المنظومة خلاله آنياً عن حالة التوازن.

كان مبدأ السبب الكافي يوحّد بشكل لا يقبل الانفصام التعريف «المحلي» لمنظومة ـ السبب «الممتلىء» والنتيجة «الكاملة» ـ و«تناظر» الزمن ـ علاقة «التكافؤ» العكوسة التي تربط السبب والنتيجة. وتثبت العكوسية أن لا شيء أفلت من التعريف، وأن هذا الأخير يحدد التطور بشكل كامل. كان يمكن إذن للموضوع الديناميكي الخاضع لمبدأ السبب الكافي أن يظهر على أنه معقول تماماً وعلى أنه يوافق مناهج لا تدين بشيء لوجهة النظر الإنسانية. وبشكل متلازم فإن كل محاولة لإعطاء معنى للاعكوسية بلغة خاضعة لمبدأ السبب الكافي كان سيؤدي إلى إظهار هذا الأخير على أنه نتيجة لتحديد تقريبي متعلق بوجهة النظر الإنسانية وليس بالموضوع. لكن الحركات الديناميكية الشواشية تسمح ببناء هذا الجسر الذي لم يستطع بولتزمان إيجاده بين الديناميكا وعالم السيرورات اللاعكوسة. إن التمثيل الجديد للموضوع الديناميكي، غير المحلي وذي التناظر الزمني المكسور، «ليس» وصفاً تقريبياً أكثر فقراً من التمثيل الكلاسيكي. بل إنه يعرف على العكس هذا التمثيل الكلاسيكي على أنه «متعلق» بحالة خاصة. إن حدود مصداقية مبدأ السبب الكافي ليست مرتبطة بحدود المراقب الذي يراقب بل بالخصائص الذاتية والأصلية للموضوع المراقب.

إن تحول الخباز هو نموذج لمنظومة ديناميكية هبائية (ما ندعوه تقنياً منظومة «ذات K نسق» حيث K ترمز لاسم الرياضي الكبير كولموغوروف Kolmogoroff). وتتوضع مثل هذه الأنظمة بالتأكيد في الجهة المقابلة للمنظومات الديناميكية التي أرست مثال التحديدية. وإننا نعرف اليوم أن هذه الأخيرة التي سيطرت لفترة طويلة على مخيلة الفيزيائيين تشكل في الواقع صفّاً خاصاً جداً. وهكذا حل محل فكرة السلوك الديناميكي المتجانس، المصمّم تبعاً لنموذج النواس أو للمسار الأرضي، استكشاف الحركات المتمايزة التي تشكل المنظومات التحديدية والمنظومات الهبائية حدّيها الأقصيين.

لقد إنشرخت الصورة المتجانسة للسلوك الديناميكي عام 1892 مع اكتشاف بوانكاريه[7] لنظرية أساسية: إن معظم المنظومات الديناميكية، بدءاً بالمنظومة البسيطة ذات «الأجسام الثلاثة»، «ليست قابلة للتكامل».

فكيف نفهم هذا البيان؟ إننا نعرف منذ أعمال هاملتون أن منظومة ديناميكية معينة يمكن أن تمثل بطرق مختلفة متكافئة بواسطة تحول عمومي (أو موحَّد، ويستعمل المصطلح الأول عادة في الميكانيك الكلاسيكي، والثاني في الميكانيك الكمومي؛ ولن نهتم بالتمييز بينهما) لتعريف زوج المتحولات المستقلة التي تسمح بوصفها: الوضعيات (q) والأزمنة (أو كميات الحركة) (p). ويحفظ التحوّل العمومي الشكل الهاملتوني للوصف: فطاقة المنظومة، المعبر عنها بمصطلحات المتحولات الناجمة عن مثل هذا التحول، هي دائماً «هاملتوني» المنظومة والمقدار الذي يحدد تطورها الزمني.

ويوجد بين كل التحولات الموحَّدة تحول يسمح بالوصول إلى تمثيل مميز للمنظومة. إن التحول الذي يجعل من الطاقة، أي من الهاملتوني، تابعاً للأزمنة وحدها وليس للمواضع. وفي مثل هذا التمثيل توصف حركات مختلف جسيمات منظومة كما لو أنها لم تعد تتعلق بالمواضع النسبية للجسيمات، أي كما لو لم تعد هذه الأخيرة متفاعلة فيما بينها: كذا يكون تحديد المتحولين p و q قد «امتصّ» التفاعلات. وبالتالي فإن للحركات الممكنة لمثل هذه المنظومات بساطة الحركات الحرة.

نسمي المتحولات التي توافق هذا التمثيل الخاص بالمتحولات «الدورية»، لأنها تسمح بتفسير الصفة الدورية للسلوك الديناميكي. وتشتمل هذه المتحولات

كما هو الأمر دائماً على الإحداثيات والأزمنة. وتتغير الإحداثيات، التي تسمّى متحولات «الزاوية» أو المتحولات «الزاوية»، كما هو الأمر بالنسبة لكل منظومة بلا تفاعل، بشكل خطي مع الزمن. ويتحدد هذا التغيّر بالتواترات ω المميزة للمنظومة القابلة للتكامل. وتدعى الأزمنة متحولات «الفعل» وهي «ثوابت» الحركة الديناميكية. ويمكن وصف كل المنظومات المتكاملة بمصطلحات متحولات الزاوية والفعل.

والحالة هذه فقد بيّن بوانكاريه عام 1892 أنه من الممكن عموماً تحديد التحوّل الموحّد الذي يجعل من «الأفعال» ثوابت للمنظومة. إن معظم المنظومات الديناميكية لا تقبل ثوابت خارج الطاقة وكمية الحركة الكليتين، وهي بالتالي غير قابلة للمكاملة.

إن سبب استحالة تحديد لامتغيرات الحركة الموافقة لتمثيل منظومة ديناميكية قابلة للمكاملة يرجع لآلية في «الطنين». وكلنا معتادون على ظاهرات الطنين. لنأخذ نابضاً: فعندما نشدّه عن وضعية توازنه فإنه يهتز بتواتر مميّز هو تواتره الخاص. ولنخضع هذا النابض لقوة خارجية مميزة هي أيضاً بتواتر يمكننا التحكم بتغييره. ففي اللحظة التي يصبح فيها التواتران، تواتر النابض وتواتر القوة الخارجية، مرتبطين بعلاقة بسيطة (أي أن يكون أحد التواترين مساو للآخر أو يساوي أضعافه الصحيحة 2, 3, 4 ...) فإننا نلاحظ ازدياد سعة اهتزاز النابض بطريقة مذهلة. وبالمثل فإننا جميعاً نعرف أننا لو أعطينا لأرجوحة دفعات توافق دورها فإن حركتها ستتخذ سعة كبيرة جداً. كذا يمكن أن نميز ظاهرة الطنين كانتقال للطاقة بين حركتين دوريتين مقترنتين يكون تواتراهما مرتبطين فيما بينهما بعلاقة بسيطة.

إن حركات الطنين هذه ـ إنما هذه المرة بين مختلف درجات الحرية التي تميز نفس المنظومة الديناميكية ـ هي التي تمنع أن تكون هذه المنظومة قابلة للتشكيل وفق شكل تكاملي. وينتج أبسط طنين بين التواترات $\omega_1, \omega_2 ... \omega_n$ عندما تكون هذه التواترات متساوية، بل إنه ينتج أيضاً في كل مرة تكون فيها التواترات مشتركة القياس، أي في كل مرة يكون بينها نسبة قياسية (أي إذا كانت هناك مجموعة من الأرقام الحقيقية التي لا تساوي كلها الصفر $k_1 ... k_n$ بحيث يكون ... $k_1\omega_1 + k_2\omega_2 + ... + k_n\omega_n = 0$)، وتتعقد المسألة بفعل أن التواترات بشكل عام (بعكس الحالة الخاصة للنواس المتجانس) ليست ثوابت بل تتعلق بقيمة متحولات الفعل.

وبالتالي فإن لها قيماً مختلفة في كل نقطة من فضاء المراحل. ويؤدي ذلك إلى أنه سيكون ثمة في فضاء المراحل لمنظومة ديناميكية نقاط مميزة بطنين وأخرى غير مميزة بحالة طنين. ويمنع عموماً وجود نقاط الطنين التمثيل بمصطلحات المتحولات الدورية، أي تجزئة الحركة إلى حركات دورية مستقلة.

إن نقاط الطنين، أي النقاط التي تكون للتواترات فيما بينها علاقة قياسية، تكون «نادرة» كما أن الأعداد الصحيحة نادرة بالنسبة للأعداد غير الصحيحة. وهكذا يصبح لدينا في كل أنحاء فضاء المراحل «تقريباً» حركات دورية من نمط معتاد. بيد أن نقاط الطنين توجد في كل حجم منته من فضاء المراحل. ومن هنا الصفة المعقدة بشكل مخيف لصورة المنظومات الديناميكية كما كان قد كشفها لنا بوانكاريه بواسطة الديناميكا الحديثة والتي تابع العمل بها كولموغوروف وأرنولد Arnold وموسر Moser[8].

لو كانت المنظومات الديناميكية قابلة للمكاملة لما كانت الديناميكا لتكشف لنا سوى عن صورة سكونية للعالم، صورة تشكل نموذجها البدئي حركة النواس أو الكوكب على مساره الكبلري. ومع ذلك فإن وجود الطنين في المنظومات الديناميكية ذات الأكثر من جسمين لا يكفي لتغيير هذه الصورة ولجعلها متجانسة مع السيرورات التطورية التي درسناها في الفصول السابقة. وكما سبق وذكرنا فإن الحركات الدورية هي التي تسيطر دائماً عندما يبقى الحجم صغيراً. وهذا مختلف كثيراً عن تحول الخباز حيث أن المسارات الدورية هي التي تشكل على العكس الاستثناء كما سبق ورأينا.

ومع ذلك فإن الوضع ينعكس بالنسبة للمنظومات «الكبيرة» (التي ينتهي حجمها إلى اللانهاية). فحالات الطنين تتراكم في كل مكان في فضاء المراحل وهي تنتج من بعد ليس في كل نقطة قياسية بل في كل نقطة حقيقية (وبعبارة تقنية نمر من سلسلة فورييه Fourier إلى تكامل فورييه). ومذاك تسيطر الحركات غير الدورية كما هو الحال في المنظومات الهبائية.

ويعرف الفيزيائيون بالتأكيد «منظومات كبيرة» ذات سلوك قابل للتناسخ وللتحكم بشكل كامل. وتلك هي الحال مثلاً بالنسبة لناقل فائق أو لبلورة كبيرة. ومع ذلك فإن مثل هذه المنظومات تشكل الإستثناء. فأقل تلوث يحول بشكل نوعي سلوك البلورة. وكما سنرى فإن المنظومة الكبيرة النموذج هي التي كانت موضوع

النظرية الحركية لبولتزمان: جمهرة من الجسيمات القابلة «للتفاعل» بعضها مع بعض.

ونصل هنا إلى لقاء عجيب بين بولتزمان وبوانكاريه، بين الذي أراد أن يفسر المبدأ الثاني بعبارات القوانين الديناميكية العكوسة والذي كان قد أدان المحاولة على أنها مستحيلة مسبقاً. إن التصادمات كآلية تطور توافق في الواقع بشكل دقيق جداً ظاهرات الطنين. ويمكن أن يشبه تصادم بين جسيمين بانتقال للطاقة بين هذين الجسيمين. ويحفظ اللقاء بين جسيمين بسرعتين v_1 و v_2 الطاقة وكمية الحركة الكليتين إنما يعطي للجسمين سرعتين جديدتين v'_1 و v'_2.

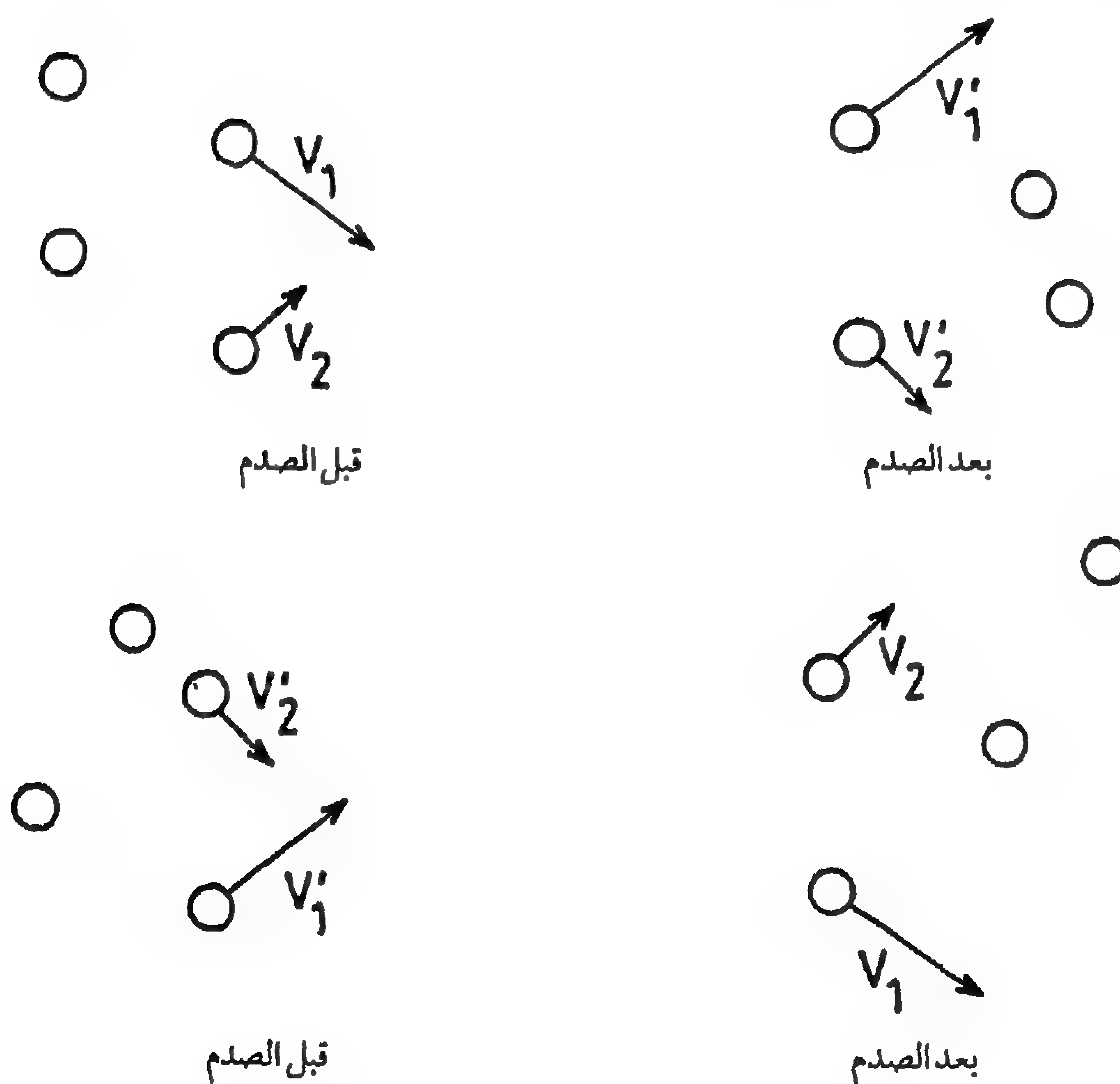
وكما سبق وقلنا فإن وجود حالات طنين يجعل التحول الموحد غير ممكن وهو الذي كان يجب أن يؤدي إلى تحديد التأثيرات J كثوابت للمنظومة، أي السماح بالانتقال من الشكل العام للهاملتوني $H(p,q)$ إلى شكله الخاص $H(J)$. ومع ذلك، وفي حالة المنظومات الديناميكية الكبيرة، المميزة بمجموعة مستمرة من الطنين، فإن تحوّلاً آخر يصبح ممكناً، وهو لا يواجه حاجز التفرعات التي تجعل التحول الموحّد مستحيلاً ويمكن بالتالي أن يعرف كتعميم لهذا الأخير. وهذا التحول غير الموحّد هو من النمط نفسه للتحوّل الذي سمح لنا بكسر التناظر الزمني لوصف المنظومات الديناميكية الهبائية. وهو يحدد هنا «الانتقال من وصف ديناميكي إلى وصف من نمط حركي»، ويحقق بذلك الصلة مع عالم السيرورات الترموديناميكية (أنظر أيضاً الملحق II).

وقد استطاع سيناي Sinai في حالة منظومة من كرات صلبة متصادمة إثبات التطابق بين السلوك الحركي والهبائي، وتحديد العلاقة بين قياس حركي كزمن الراحة (الزمن المتوسط بين تصادمين) وزمن ليابونوف الذي يميز الأفق الزمني للمنظومات الهبائية.

يتبدّى إذن الوصف الحركي ذو التناظر الزمني المكسور، كما سنرى بشكل أكثر تفصيلاً، ليس شكلاً قريباً من النظرية الديناميكية، بل وصفاً دقيقاً كالوصف الكلاسيكي بمصطلحات المسارات التحديدية والعكوسة. وبعيداً عن إمكانية كونهما تراتبيين فإن هذين النمطين في التمثيل يميزان حديّ طيف الحركات الديناميكية المتمايزة نوعياً.

لنحلل عن قرب أكثر قليلاً حادث «التصادم» الذي يسمح بربط الديناميكا والنظرية الحركية.

للوهلة الأولى يبدو التصادم عكوساً: فلكل تصادم محوّل للسرعتين v_1 و v_2 لجسيمين إلى السرعتين v'_1 و v'_2 هناك تصادم معاكس يحول السرعتين v'_1 و v'_2 إلى v_1 و v_2 (أنظر الشكل 15). فكيف نفهم عندها أن التصادمات يمكن أن تكون آلية تطور لاعكوس باتجاه التوازن؟



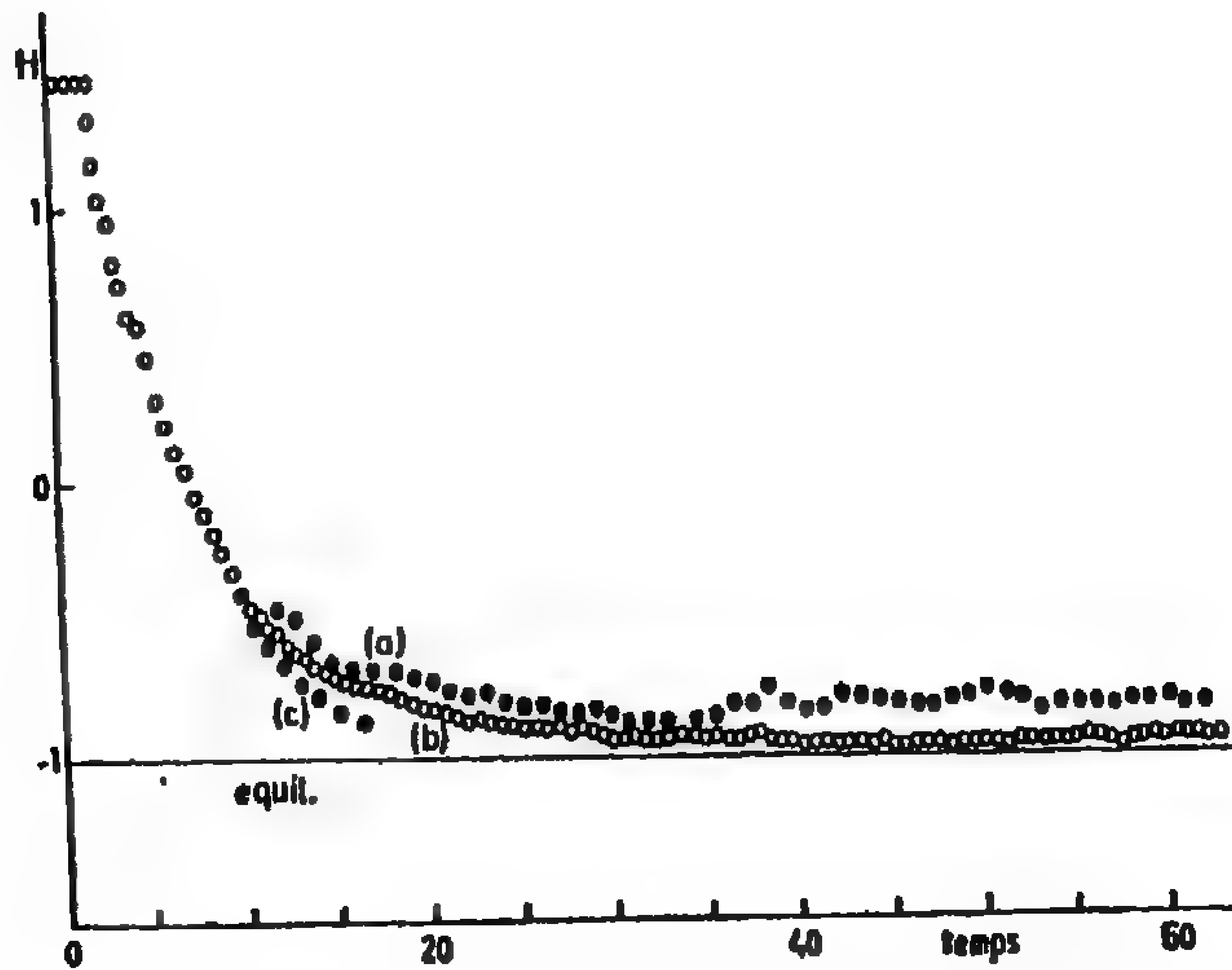
الشكل 15 ـ تصادم وتصادم معاكس.

لقد سمحت تجارب مماثَلَة رقمية (أنظر الشكل 16) بتصوير سلوك التابع $\mathcal{H}$ الذي كان قد بناه بولتزمان ابتداء من تابع توزيع السرعات f (هذا التابع $\mathcal{H}$ هو تكامل $\int f \lg f dv$ مأخوذاً على سرعات الجسيمات). ونلاحظ أن لهذا التابع

فعلاً، كما كان بولتزمان قد تنبأ، سلوكاً سهمياً في الزمن. وابتداء من المعادلات الديناميكية، المتناظرة بالنسبة للزمن، تحسب المماثلة حركة مجموعة «أقراص صلبة» على مساحة ذات بعدين محددة بقيد دوري عند أطرافها (تشكل هذه المساحة «قولباً طوقياً»). ويكون توزع السرعات إتفاقياً في اللحظة الإبتدائية لكنه يوافق وضعية بعيدة عن التوازن. ويتناقص التابع بشكل وحيد الاتجاه نحو قيمة ثابتة تميز حالة توازن المنظومة. وفي حالة التوازن تكف التصادمات عن تغيير توزع السرعات إلاّ بدرجات خفيفة.

كيف نفهم «سهم الزمن» هذا؟ ولما كان زمن المماثلة قصيراً، فليس من المدهش ألا نلحظ «عودة» للمنظومة باتجاه حالتها الإبتدائية، ولكن لماذا يتم التطور دائماً بالاتجاه نفسه، نحو التوازن الواقع في «مستقبلنا»؟

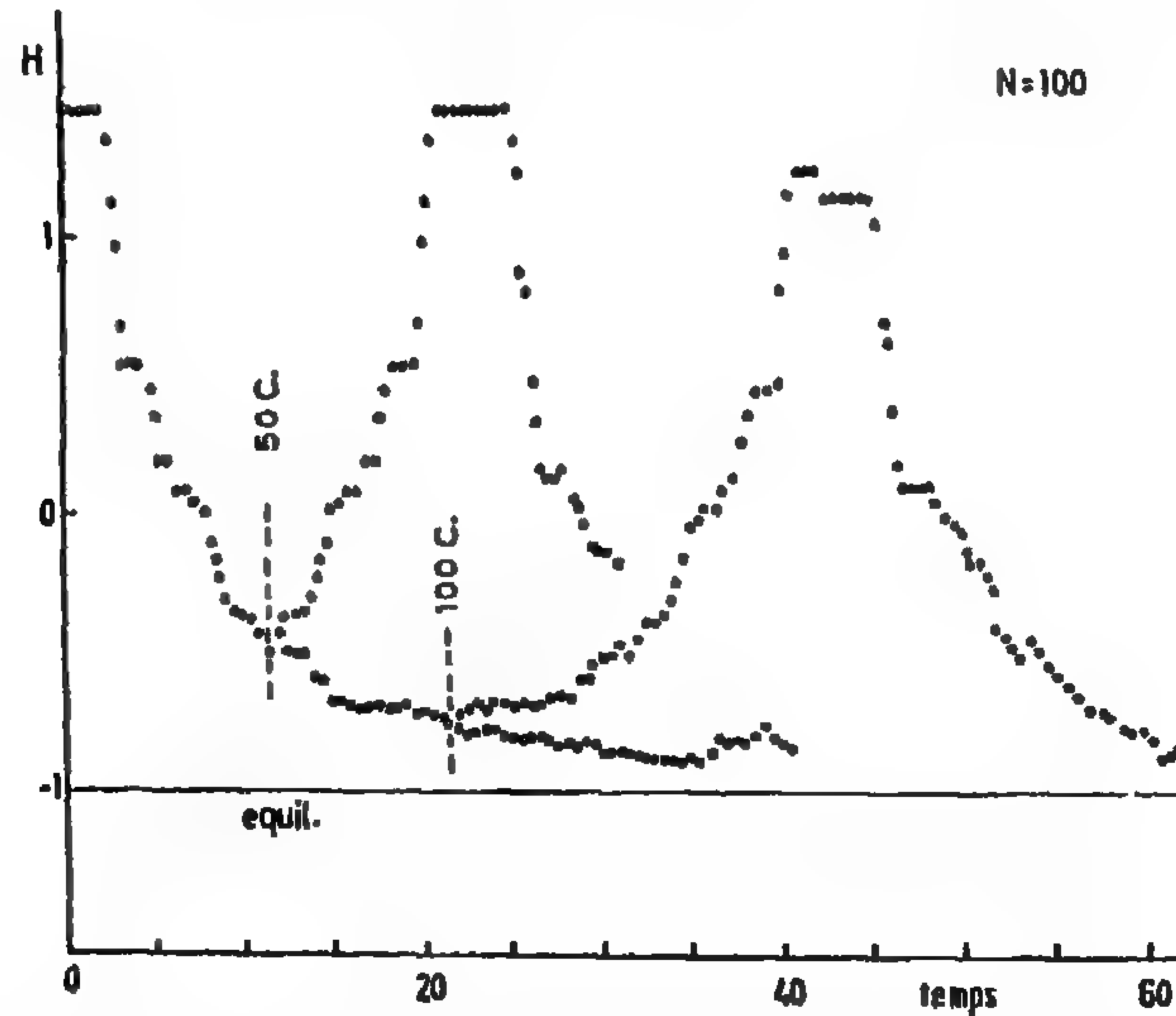
كان بولتزمان قد حاول أن يبين أنه طالما لم تكن المنظومة في حالة التوازن فإن التصادمات التي تجعل تابع توزع السرعات يتطور باتجاه قيمة توازنه تكون إحصائياً أكثر تواتراً من التصادمات التي تبعده عنه. ومع ذلك ـ وكما كنا قد ألمحنا في الفصل الأول ـ فإن اعتراض لوشميدت Loschmidt يبرز ضعف هذه الحجة. إن عكس السرعات يعطي الوسائل لإرفاق كل حالة إبتدائية «بولتزمانية»، تحدد تطوراً يقود نحو التوازن، بحالة ابتدائية أخرى تحدد التطور المعاكس. وبعبارة أخرى فإن الاحتمالات لا تسمح بتفسير سهم الزمن.



الشكل 16 ـ مماثلة رقمية للتناقص وحيد التغير للتابع H لبولتزمان مع مرور الزمن[9].

وكان بولتزمان نفسه قد أجبر على الإستنتاج أن مصداقية وصفه الحركي تتعلق بإشراط قائم على الحالة الإبتدائية للمنظومة. وهذا القيد هو «الهباء الجزيئي». وكما هو الحال في المماثلة الرقمية التي وصفناها أعلاه، فإن الهباء الجزيئي يتحقق عندما تُعيَّن الوضعيات والسرعات الابتدائية لمختلف الجسيمات بطريقة اتفاقية. وبالمقابل عندما يتم الحصول على الحالة الابتدائية بواسطة عكس السرعات، فإن الوضعيات والسرعات الابتدائية للجسيمات لا تعود مستقلة عن بعضها بعضاً: فعكس السرعات يخلق «صلات» بين هذه الجسيمات. ولهذا السبب يُفلت تطور منظومة محضرة بهذا الشكل من المنطق الإحصائي لبولتزمان ويمكن أن يقود هذه المنظومة للابتعاد عن التوازن الترموديناميكي. ورغم ذلك لم يستطع بولتزمان أبداً أن يبرهن بشكل كاف الاختلاف الأصلي بين «الشواش الجزيئي» وحالة الترابط[10].

لنعد إلى تجربة المماثلة الرقمية التي ستسمح لنا بإنجاز ما كان في عصر بولتزمان سوى تجربة فكرية: عكس السرعات (أنظر شكل 17). فبعد عدد معيّن من التصادمات تعكس سرعات الجسيمات، ونلاحظ في الواقع أن قيمة التابع $\mathscr{H}$ تزداد بدلاً من أن تنقص. كذا يظهر أن اعتراض لوشميدت مؤيّد بالتجربة، فسلوك هذا التابع يتعلق فقط بالصفة الخاصة للحالة الابتدائية للمنظومة.



الشكل 17 ـ مماثلة رقمية[9] لتجربة عكس السرعات (c50 و c100 تشيران إلى أن العكس تمّ بعد 50 أو 100 تصادم).

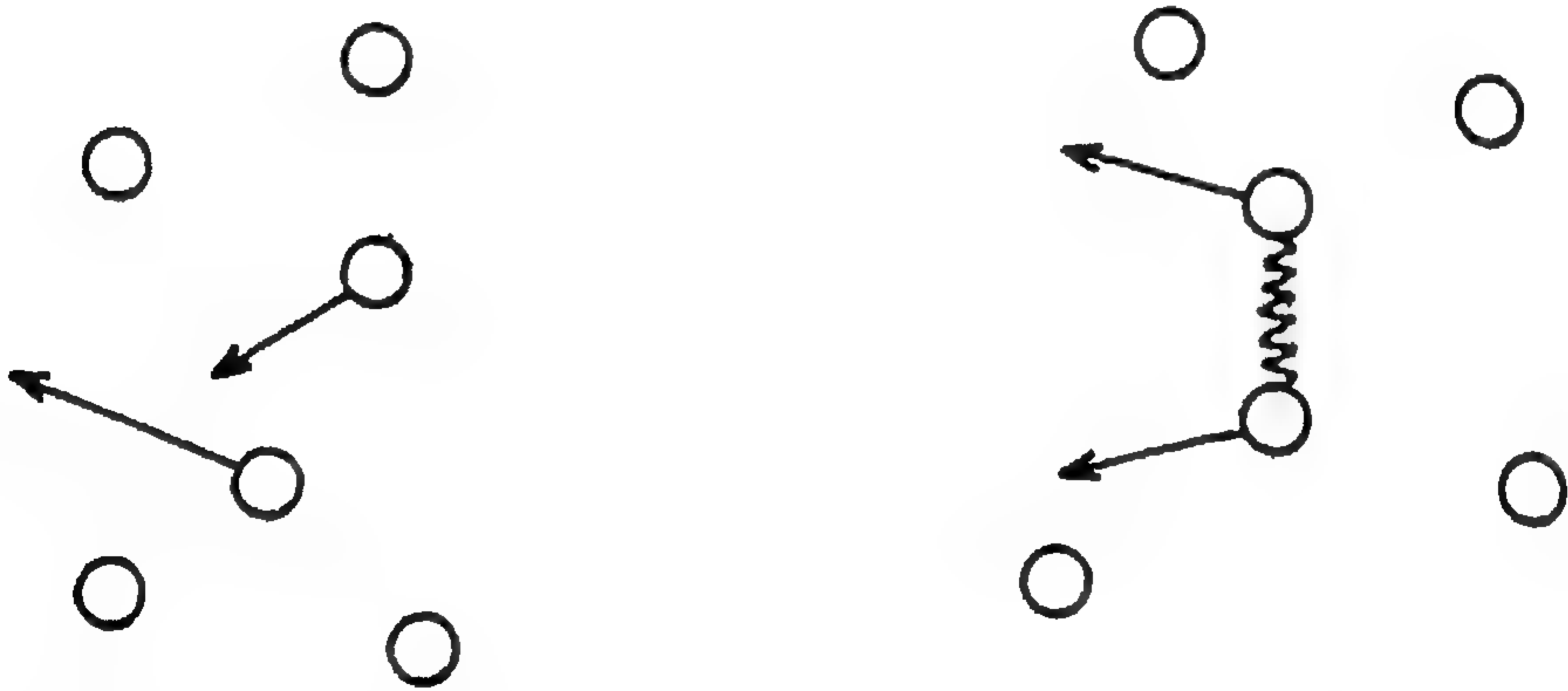
ومع ذلك، لو تمعّنا بالشكل بانتباه أكبر فإننا ستتمكن من رؤية «سيطرة» سهم الزمن على الرغم من كل شيء. وفي الحقيقة فإن عكس السرعات لا يؤدي إلاّ إلى أثر انتقالي. ومن جهة أخرى إذا وقع عكس السرعات بعد 100 صدمة بدلاً من أن يقع بعد 50 صدمة، فإن التابع $\mathscr{H}$ لن يعود إلى قيمته الابتدائية بل إلى قيمة أخفض منها.

وممّا لا شكّ فيه أن استخدام حاسوب أكثر كفاءة وقدرة على الحساب بعدد أكبر من الأرقام العشرية كان سيمكننا من تقليص الفارق. ومع ذلك فإن المسألة ستطرح مجدداً بعد 150 أو 200 تصادم . . . وأياً كانت المعلومات التي نملكها فلن نستطيع أن نعدم الفارق النوعي بين التطور البولتزماني وعكسه: فكلما كان عدد الاصطدامات أكبر قبل عكس السرعات كلما كان من الصعب أكثر «تحضير» منظومة تستطيع صعود المنحدر الانتروبي والعودة إلى وضعها الابتدائي. يجب أن نستنتج إذن أنه بعكس الفرضية الكلاسيكية التي طرحها سمولوكوفسكي Smoluchowski ـ والتي بحسبها سيظهر تطور مثل هذه المنظومة عكوساً بالنسبة لأزمنة طويلة ـ بالنسبة لأزمنة طويلة قياساً للزمن الذي يفصل تصادمين، أن سهم الزمن هو الذي يسيطر على تطور المنظومة.

لدينا الآن وسائل فهم سيطرة سهم الزمن بطريقة نوعية. إن الحالات المولدة لتطور ضد بولتزماني لا تكون مكافئة للحالات الأخرى إذا كانت بشكل مباشر كثيرة بمقدار كثرة هذه الأخيرة. وكل غموض في تحديد حالة ابتدائية «ضد بولتزمانية» يكفي في الواقع لإعادة سيطرة سهم الزمن. وبالتالي فليس بمصطلحات الاحتمال يمكن أن يحدد الفارق بين نمطي الحالة، بل بعبارتي اللاإستقرارية والأفق الزمني. وبالنسبة لأزمنة طويلة قياساً لزمن ليابونوف «من المستحيل أن نحضر» بواسطة عكس السرعات «حالة تفلت من سهم الزمن» مهما كانت دقة معالجاتنا وحساباتنا الرقمية. وإلى ما وراء الأفق الزمني للمنظومة تكون المعلومة الضرورية لمثل هذا التحضير قد ضاعت بشكل لاعكوس.

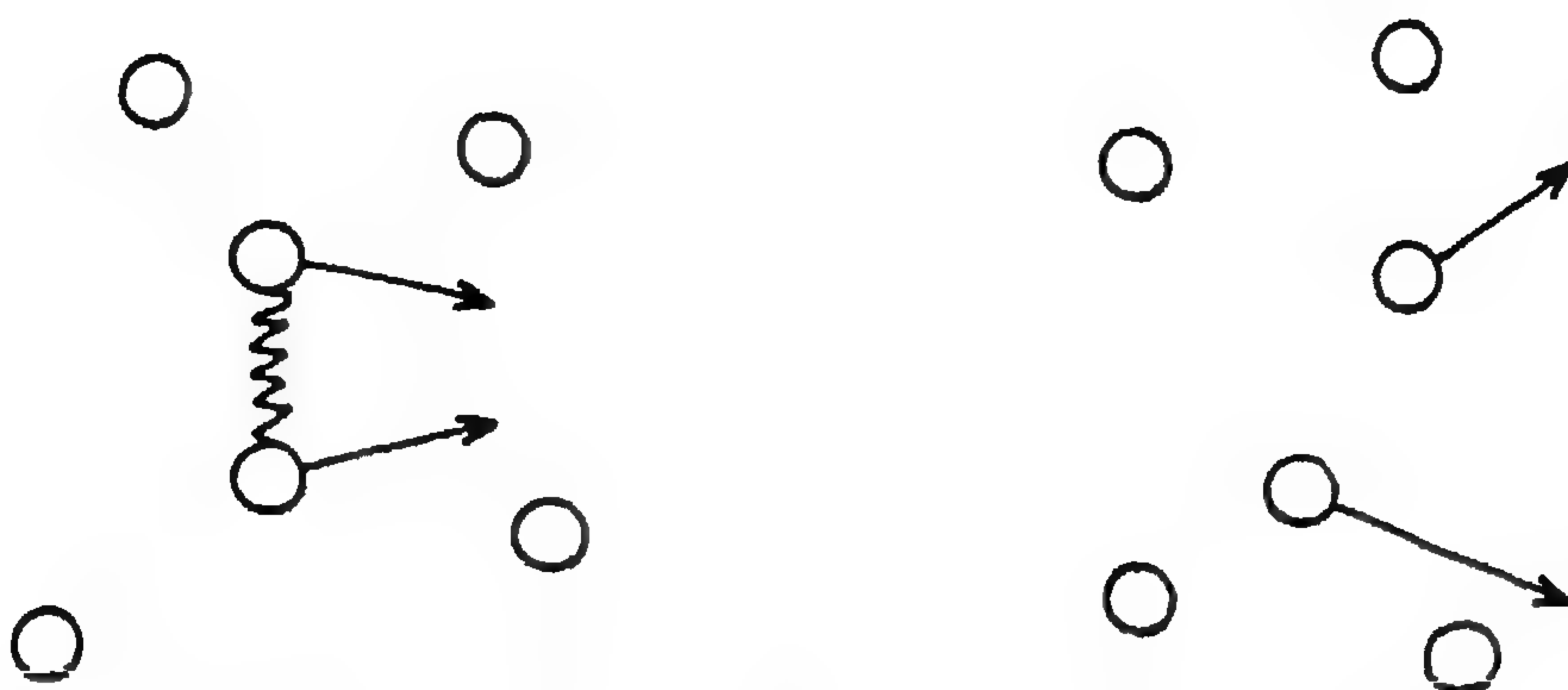
لنحلل الآن بطريقة أدق التصادم لكي نحدد الاختلاف الأصلي بين التصادمات التي تنتج في منظومة في حالة «شواش جزيئي»، أي بين جسيمات معرفة على أنها مستقلة عن بعضها بعضاً، والتصادمات التي تنتج بين الجسيمات المرتبطة.

كان الوصف الحركي لبولتزمان تقريبياً وقابلاً للإنتقاض بمواجهة اعتراض لوشميدت، لأنه لم يكن يأخذ بعين الاعتبار سوى تغيرات السرعة التي تنتج من التصادم والتي تقرب توزع السرعات من توزع التوازن. والحالة هذه فإنه ليس للتصادمات كأثر وحيد أن تغير توزع سرعات جسيمات المنظومة، بل إنها تخلق أيضاً «صلات» بين هذه الجسيمات (شكل 18). إن عكس السرعات يغير هذه الصلات ما بعد التصادمية إلى صلات ما قبل تصادمية (أنظر شكل 19). إن الاختلاف بين التصادمات التي تقود التطور باتجاه التوازن وتلك التي تبعده عنه يمكن أن يحدد إذن بالنسق الزمني بين التصادم والعلاقات. في الحالة الأولى يخلق التصادم علاقات بين الجسيمات المستقلة ويجعل سرعاتها أكثر «فوضوية». وفي الحالة الثانية تُدمِّر العلاقات ما قبل التصادمية لكن توزع السرعات يبتعد عن قيمة توازنه.



الشكل 18 ـ خلق العلاقات.
الجسيمات ليست مرتبطة في الأصل. ويخلق التصادم بين جسيمين فيما بينهما صلات ما بعد تصادمية (مشار إليها بالخطوط المعرجة).

ولا يكون لهذا الاختلاف أي معنى بالتأكيد عندما يكون للمنظومة سلوك دوري. وهكذا في الحالة التي تتألف فيها منظومة من جسيمين يصدمان بعضهما بعضاً بشكل دوري فإنه سيكون من غير الممكن التمييز بين تصادمات ما قبل وما بعد تصادمية. إن كل تصادم يدمر أو يعيد خلق صلات بين الجسيمين بشكل متناوب. وبالتلازم مع ما سبق فإنه لن يمكن تحديد سهم الزمن ولا حالة التوازن. وبالمقابل، فإن ديناميكا الصلات ما بعد التصادمية في المنظومات الكبيرة ذات



الشكل 19 ـ تدمير العلاقات بعد عكس للسرعات: فالتصادم يدمر العلاقات ما قبل التصادمية التي خلقها التصادم الممثل في الشكل السابق.

السلوك الهبائي هي التي تسمح لنا بتفسير سيطرة سهم الزمن التي سمحت لنا المماثلات الرقمية بتبينها.

إن العلاقات التي تخلقها التصادمات بالنسبة لزمن طويل قياساً لزمن ليابونوف تفلت من كل ضبط قابل للتصور. وفي الحقيقة فإن الصلات الناشئة بين جسيمين دخلا في تصادم ستتخامد كلما التقى هذان الجسيمان جسيمات أخرى، والتقت هذه الجسيمات غيرها وهكذا إلخ. إن تطور منظومة من تصادم إلى تصادم يحدد إذن «دفقاً من الصلات»، ويستتبع خلق الصلات عدداً متزايداً دوماً من درجات الحرية. وهكذا تكون الصلات ما بعد التصادمية منذورة إذن لملاقاة «بحر» من الصلات اللانهائية المضاعفات واللاتجانسات[11]، وذلك بعد زمن طويل قياساً لزمن ليابونوف.

كان بولتزمان مجبراً على الاعتراف بأن التابع $\mathscr{H}$ الذي كان قد بناه لم يكن يأخذ في الاعتبار الصلات وأن مصداقية نظريته كانت ترتبط في الواقع بحجج إحصائية تفترض الهباء الجزيئي وغياب الصلات ما قبل التصادمية. إن ديناميكا الصلات تسمح بأن نعطي لازدياد الانتروبيا معنى ديناميكياً بحتاً لا يفترض الهباء الجزيئي. وهي تسمح في الحقيقة بأن ندمج في معادلة من النمط البولتزماني هدم الصلات ما قبل التصادمية بواسطة التصادمات، وأن نبين أن الصلات التي تخلقها التصادمات ليس لها تأثير على تطور المنظومة باتجاه التوازن. إن دفق الصلات هو

الذي يُكسب إذن مصداقيته لوصف بولتزمان الحركي. فسهم الزمن الذي حدّده بولتزمان ليس متعلقاً بوصف احتمالي. بل على العكس، إن ديناميكا الصلات هي التي تسمح بتأسيس إمكانية وصف احتمالي.

فماذا عن الحالة «الأكثر احتمالاً»، أي حالة التوازن؟ كان سلوك منظومة في حالة التوازن يوصف تقليدياً على أنه متناظر تماماً بالنسبة للزمن. في الحالة المتوسطة ينتج في وضع التوازن عدداً من التصادمات المحوّلة لسرعتي جسيمين v_1 و v_2 إلى السرعتين v'_1 و v'_2 يساوي عدد التصادمات المعاكسة المحولة لسرعتين v'_1 و v'_2 لجسيمين آخرين إلى السرعتين v_1 و v_2. يوافق التوازن إذن ما يدعوه الفيزيائيون مبدأ «العكوسية الصغرية»: فالتصادمات لا تسمح لنا بتحديد سهم الزمن وبتمييز الماضي عن المستقبل.

فإذا قبل مبدأ العكوسية الصغرية فإلى ماذا تؤول اللاعكوسية؟ لا يمكن عندها للاعكوسية إلاّ أن ترتبط بشروط اللاتوازن. فسهم الزمن لن يوجد في حجيرة ذات درجة حرارة متجانسة بل نخلقه بتسخين جزء وبتبريد الآخر. ومع ذلك من الصعب القبول بهذه الإجابة إذا كان دفق الصلات كما سبق ورأينا، وهو الذي تحدده الصلات، هو الذي يعطي لسهم الزمن الحركي معناه.

لقد أثبتت وجهة النظر هذه مماثلات رقمية [12] حديثة. فقد بينت أن التصادمات حتى في حالة التوازن تخلق صلات... فبعد تصادم بين جسيم i وجسيم j تبقى السرعتان v_i و v_j مرتبطتان. ويمكننا حساب القيمة الوسطية $\langle v_i(t).v_j(t)\rangle$ للجداء $v_i(t).v_j(t)$ مأخوذاً على كل الجسيمات i و j الداخلة في التصادم في اللحظة 0، وإظهار أنه يبقى غير مساو للصفر خلال زمن من رتبة الزمن الذي يفصل تصادمين. وبالمقابل، من أجل كل جسيم k لم يدخل في التصادم مع i تكون هذه القيمة الوسطية $\infty v_i(t).v_k(t)\varnothing$ معدومة. وذلكم مثال على دفق الصلات الذي يدوم حتى في حالة التوازن. فعند كل تصادم تولد صلات بين جسيمات لتختفي في الوقت نفسه تقريباً إثر تصادمات متتالية. وطالما كانت المنظومة في حالة التوازن فمن المؤكد أنه ليس لصلاتها أي أثر عياني. إضافة لذلك يبقى مبدأ الهباء الجزيئي لبولتزمان قائماً: فالجسيمات مستقلة «قبل» الصدم.

يمكننا الاستنتاج إذن أنه على المستوى الصغري «يدوم الاختلاف بين الماضي والمستقبل حتى في منظومة متوازنة». فليس اللاتوازن الذي يخلق سهم

الزمن، «إنه التوازن الذي يمنع سهم الزمن، القائم دوماً على المستوى الصغري، من أن تكون له آثار عيانية».

لقد بيّنا في الفصل الثالث أن اللاتوازن هو مصدر للنظام. ويمكننا الآن أن نحدد بدقة أكبر هذا البيان. إن اللاتوازن بما هو ناتج عن قيد عياني هو أقل خلقاً منه كشفاً. فهو الذي يسمح لسهم الزمن بالظهور على المستوى العياني وبالتجلي فيه ليس فقط من خلال التطور باتجاه التوازن، بل وأيضاً كما سبق ورأينا من خلال خلق حركات جماعية متجانسة.

إن حالة التوازن تفرض نفسها إذن كحالة خاصة أكثر أيضاً من وجهة النظر الصغرية ممّا هي من وجهة النظر العياني. فعلى المستوى العياني يمكن لنمط وصف حالة التوازن أن تتعمق إلى حالات قريبة من التوازن. وفي الواقع لا يوجد فرق أساسي بين حالات التوازن التي يكون إنتاج الانتروبيا معدوماً بالنسبة لها والحالات القريبة من التوازن التي يكون هذا الإنتاج في حدّه الأدنى بالنسبة لها. ومن الضروري الابتعاد عن التوازن لرؤية ظهور حركات عيانية جديدة نوعياً. أما على المستوى الصغري فالأمر مختلف جداً. وقد سبق ورأينا في الفصل الثالث أننا ما أن ننتقل من وضعية توازن إلى وضعية لاتوازن حتى تظهر صلات على المدى البعيد. كما ورأينا لتوّنا أنه في حالة التوازن فقط بحصر المعنى إنما يبقى سهم الزمن دون أثر عياني. وهكذا فإن وحدة تصورية جديدة ترتسم أمامنا. فحالة التوازن كانت مفضلة بما كانت تظهره، على المستوى العياني، من اللامبالاة بالزمن الذي كان يميز كما كان يعتقد السلوك الصغري. وعلى العكس كانت حالة التوازن تظهر من بعد كحالة خاصة بما هي تستبطن إذا جاز القول هذه المظاهر الأساسية لنشاط المادة، الماثلة دوماً على المستوى الصغري، وهي الصلات على المدى البعيد لسهم الزمن.

إن النتيجة التي نصل إليها اليوم تعمق بل وتجعل أكثر جذرية النتيجة التي كنا قد توصلنا إليها في بداية السبعينات [13]. ففي ذلك الحين كنا قد بيّنا بالنسبة للمنظومات المخففة من نمط المنظومات التي كان بولتزمان قد درسها أن ديناميكا الصلات كانت تسمح ببناء تابع انترويي. أما بالنسبة للمنظومات الأكثر كثافة فكان قد ظهر مع ذلك أنه من الضروري إعادة تعريف الأشياء المعرفة على أنها أشياء مستقلة عن بعضها بعضاً في حالة التوازن. ومن أجل تحديد هذه الأشياء الجديدة ـ

التي دعيت «هيبْنونات hypnons» لأنها «تنام» في حالة التوازن في حين أن اللاتوازن يوقظها ويخلق الصلات فيما بينها ـ إنما أدخلنا في البداية نمط الوصف غير المحلي ذي التناظر الزمني المكسور والممثل هنا ابتداء من نموذج الخباز. ويمكننا اليوم أن نستنتج أن «نوم» الهيبنونات ليس إلاّ نوماً ظاهرياً. فالزمن اللاعكوس، الذي تحصره الرؤية الكلاسيكية بالوصف العياني للمنظومات المتطورة ابتداء من حالة ابتدائية «غير محتملة»، قد دخل إذن كافة مستويات الوصف التي كان مستبعداً منها حتى بما فيها حالة التوازن.

لقد قادنا الإلتقاء بين الديناميكا والنظرية الحركية الذي وصفناه أعلاه إلى سفح الجبل الذي يبقى علينا أن نتسلقه. والحق يقال إن الأمر الأساسي في برنامج بولتزمان كان قد تحقق: فقد اتخذ سهم الزمن معنى بما هو تصور فيزيائي غير قابل للاختزال، ومعه تغيّر مفهوم «قانون الطبيعة» نفسه. ومع ذلك فإن العلمين اللذين خلفا في القرن العشرين الديناميكا الكلاسيكية، وهما الميكانيك الكمومي والنسبية، قد ورثا من هذه الأخيرة التناظر بين الماضي والمستقبل. فهذان العلمان يظلان إذن متضامنين مع مثال الدقة اللانهائية التي كان يحملها مبدأ السبب الكافي. فهل من الممكن أن نجد في العالم الصغري الذي تحكمه القوانين الكمومية مكافىء «الهباء الديناميكي»؟ وهل أن القوانين الأساسية للطبيعة كما نعرفها اليوم قابلة لضم سهم الزمن؟

سنحاول إذن على امتداد الفصلين القادمين البحث عن الزمن اللاعكوس، على مستوى الذرات كما وعلى مستوى الكون، هذان الموضوعان اللذان يشكلان مركز فيزياء القرن العشرين. إن لازمة أولئك الذين ينفون سهم الزمن هي أنه لو كان هذا الأخير موجوداً فلن يكون بإمكاننا أن نفهم لماذا تتفق كافة قوانين الفيزياء الأساسية على نفيه. «إن هذا التواطؤ من جهة نظرياتنا الأساسية، والذي كان ليهدف إلى إخفاء سهم الزمن عنا، سيكون إما إعجازاً أو صدفة احتمال بالغ الضآلة إذا كان للزمن حقاً سهم[14]». إلاّ أنه ليس ثمة في الأمر تواطؤ ولا إعجاز. فقوانين الفيزياء ليست وصفاً محايداً، بل تنتج من حوارنا مع الطبيعة ومن الأسئلة التي نطرحها عليها. يبقى أن نرى إذا كان سيمكننا، بإدخال أسئلة جديدة في هذا الحوار، ترجيح سهم الزمن في الصرحين التصوريين الأكثر جسارة فيما بناه الإنسان على الإطلاق، ألا وهما الميكانيك الكمومي والنسبية.

الفصل السادس

تساؤلات الميكانيك الكمومي

لقد انحصر بحثنا حتى الآن بما يمكننا اعتباره كـ «مكتسبات»، إذا لم تكن نهائية، فعلى الأقل «ساكنة» على مدى مستقبل منظور. وسنعالج بالمقابل خلال الفصلين التاليين أسئلة لا تزال في أوج تطورها. ومع ذلك فإن هذه الأسئلة تمثل رهاناً هاماً جداً بحيث قررنا أن نحاول إعطاءها شكلاً نأمل أن يكون يسيراً للجمهور غير المتخصص.

وكما سبق ورأينا فإن وجود سهم للزمن شبه لفترة طويلة بعلامة ـ ويمكننا القول إلى حد ما بوصمة ـ وصف ظاهراتي. وقد بيّنا في الفصل السابق كيف كان يمكن لهذا الوجود أن يكتسب معنى أصلياً في قلب الديناميكا التي كانت لفترة طويلة النظرية الفيزيائية الأساسية (أنظر أيضاً الملحقين I و II). لكن النظريتين اللتين يعترف بهما الفيزيائيون اليوم على أنهما أساسيتان، هما الميكانيك الكمومي والنسبية وليس الديناميكا الكلاسيكية. إن الميكانيك الكمومي هو النظرية الصغرية بامتياز، القابلة للتطبيق على الجزيئات والذرات وبشكل أعم على الجسيمات الأولية التي تشكل المادة. أما فيما يتعلق بالنسبية فقد سمحت ولأول مرة في تاريخ الفيزياء ببناء «نماذج كونية» متجانسة.

فأي صلة تقيم هذه البنى التصورية التي تؤسّس اليوم فهمنا للعالم الفيزيائي

مع مسألة الزمن؟ فعلى الرغم من صفتهما الثورية يجب الاعتراف من هذه الناحية أن النسبية والميكانيك الكمومي هما وريثا التقليد الكلاسيكي: فالتغيير الزمني يُدرك فيهما على أنه عكوس وتحديدي.

وفيما يخصّ الميكانيك الكمومي يكاد هذا التأكيد أن يفاجئنا. أوليس أن هذا العلم يقترن عُموماً بالتخلي عن مثال التحديدية؟ ثم ألا يسند معنى أساسياً للاعكوسية طالما أنه يفرض كما سنرى وصف المراقبة كتغيير لاعكوس لما هو مراقب؟

ههنا تكمن عقدة المسألة. فاللاعكوسية واللجوء إلى الاحتمالات على حد سواء يرجعهما الميكانيك الكمومي إلى فعل المراقبة. فهذان المفهومان يعرفان إذن على أنهما مرتبطان بالتدخل الإنساني. وليس على أنهما ينتميان بشكل أصلي للموضوع المراقب. ومذاك تحفظ اللاعكوسية والاحتمالات في الميكانيك الكمومي وضعاً مماثلاً للذي منحته لهما، بعد إخفاق بولتزمان، الديناميكا الكلاسيكية (أنظر الفصل الأول). إننا لا نستطيع بالتأكيد في الميكانيك الكمومي، كما في الديناميكا قبل اكتشاف اللاإستقرارية الديناميكية، أن نعارض العالم العكوس والتحديدي «بذاته» بالمظاهر اللاعكوسة والاحتمالية التي تحرضها تقريباتنا، وذلك أن الوصف العكوس والتحديدي لم يعد يستند إلى عالم قابل للمراقبة. فاللاعكوسية والاحتمالات تظهر على أنها مرتبطة بالشروط التي يمكن مراقبة العالم الكمومي وفقها. ومنذ ڤون نيومن[1] Von Neumann لم يتردد فيزيائيون كبار من جهة أخرى من أن يجعلوا الإنسان الواعي المسؤول عن الإنتاج اللاعكوس للظاهرات القابلة للمراقبة التي يقيسها.

وفي الوضع الراهن يبدو أن الاحتمالات الكمومية تدخل إذن عنصراً «تخيلياً» في الفيزياء، أو بتحديد أكبر تترجم التخلي عن وصف من نمط واقعي. ومع ذلك، وكما أشار إلى ذلك كارل بوبر، ليس ثمة أي سبب لمطابقة «حلم» عودة للواقعية بحلم عودة للتحديدية. «إن وجهة نظري الخاصة هي أن اللاتحديدية منسجمة مع الواقعية، وأن قبول هذا الواقع يسمح باعتماد إبستمولوجيا موضوعية متجانسة، تفسير موضوعي لمجمل النظرية الكمومية وتفسير موضوعاتي للاحتمالية[2]».

وذلكم هو بالنسبة لنا مركز الجدال. إن مفهوم المراقبة يلعب دوراً مركزياً في الميكانيك الكمومي لأنه هو الذي يسمح بإعطاء معنى للاحتمالات. لكن ألا يمكن

لهذا الدور أن يترجم واقع أن هـذه الاحتمالات لم تتلق حتى الآن معنى أصليـاً في إطار النظرية الكمومية؟ ألا يعبر العنصر «الذاتي» الذي يبدو أن الميكانيك الكمومي يدخله في الفيزياء عن واقع أن الاحتمالات وسهم الزمن لم يُدمجا في بنيته النظريـة بل ربطا فقط بمساعدة مفهوم المراقبة الإضافي بوصف يبقى غريباً عنهما؟

وكما سنرى في الفصل القادم فـإن السؤال نفسه يُطرح فيما يخصّ «النمـاذج الكونية» المبنية اعتماداً على معادلات النسبية العامة. لقد كان أينشتاين بالفعل وعلى الرغم منه داروين القـرن العشرين، لكن النمـاذج الكونيـة التي تصف مذاك تـاريخ الكون تبقى وبشكل مدهش غريبة عن كل منـظور زمني: فهي تصف تطوراً عكـوساً حافظاً للانتروبيا.

فكيف نـدخل مسـألة الصيـرورة أو المستقبل إلى قلب هـذه البنى التصـوريـة الجوهرية؟ إن نجاحها الصريح ليزيد من صعوبة المهمة. وإن كلاً منّا يعرف أن ثمة مسائل تبقى مفتوحة، وبخاصة مسألة الربط بين النسبية والميكانيك الكمـومي. ومع ذلك كيف لا يستهوينا القبول بـأن يكون للميكـانيك الكمـومي والنسبية في حقلهمـا الخاص شكلاً نهائياً؟ لحسن الحظ فإن مثال الديناميكا الكلاسيكية يحذرنا من خطر مثل هذا الحكم. وكما عبر عن ذلـك بقوة جيمس لايثيـل (راجع الفصـل الخامس) فإن انتصار هذا العلم بالتحديد هو الذي شجـع المختصين على الإستنتاج أن كـافة المسائل المطروحة في حقل الديناميكا كان يجب أن تعالج وفق النموذج نفسه.

فعبر هذه الحدود إنما نفهم نظرية كما كان ليون روزنفيلد Léon Rosenfeld، الذي كان لفتـرة طويلة أقـرب المساعـدين لنيلز بور، يحب أن يـذكرنـا. وبالـطريقة نفسها التي سمح لنا بها اكتشاف اللاإستقرارية الـديناميكيـة بأن نفهم بشكـل أفضل الأَمْثَلَة التي كـانت الديناميكا الكـلاسيكية تفتـرضها، ربمـا كان بـإمكاننـا أن نأمـل بمحاصرة المثال الذي يستلزمه الميكانيك الكمومي بواسطة الحدود نفسها.

إننـا لن نعيد هنـا كتابـة التاريـخ الذي أدّى إلى تشكيـل المعادلـة الأسـاسيـة للميكـانيك الكمـومي، معادلـة شرودنغـر Schrödinger. وسنكتفي بالإشـارة للدور الذي لعبته فيه الديناميكا الكلاسيكية، وبخاصة نموذج المنظومات القابلة للمكـاملة (التي توصف كما رأينا في الفصل الخامس بمصطلحي متحولي الزاوية والفعل).

إنّ متحـولات الفعل التي عُـرِّفت كـ «ثوابت الحـركة» لعبت في الـواقـع دوراً أسـاسياً في النمـوذج الكمومي الأول للذرة. وقـد بيّن سومـرفيلد Sommerfeld منذ

عام 1916 أن المسارات الثابتة للإلكترونات حول النواة، والتي كان بور قد طرحها قبل ذلك بثلاث سنوات، كان من الممكن تفسيرها في إطار نظرية المنظومات القابلة للمكاملة. إن «قاعدة التكميم» التي تحدد طاقة المسارات المسموحة يعبر عنها ببساطة بواسطة قيد مؤثّر على الأفعال J. وفي حين أن كل قيمة للفعل في الديناميكا الكلاسيكية كانت ممكنة مسبقاً، فإن هذه القيم محدودة هنا بمجموعة محصورة تتميز بالعدد الكمومي n. وهكذا يُعرَّف كل مسار سكوني بـ nh=J، حيث h هو ثابت بلانك و n عدد صحيح موجب (n=1 يحدد السوية الأساسية و n>1 يحدّد السويات المحرّضة). ومع ذلك فهذا ليس سوى جانب من نموذج الذرة لبور وسومرفيلد. ويوافق الجانب الثاني انتقالات الإلكترون من مسار إلى آخر. فالانتقال يتم بطريقة غير متصلة، مع امتصاص أو إصدار لفوتون موافق لفرق الطاقة بين المسارين.

وكان اينشتاين هو الذي ربط عام 1916 هذه الانتقالات الكمومية بقانون بلانك الشهير الذي يحدد توزع توازن إشعاع الجسم الأسود (الذي سنعود إليه في نهاية هذا الفصل) وكان السبب حتى في ظهور مفهوم الكم quanta. وقد بيّن اينشتاين أنه كان من الضروري من أجل الحصول على قانون بلانك ادخال نمطين من الانتقالات: الانتقالات التي يحرضها حقل خارجي والانتقالات الطوعية. وتستتبع هذه الأخيرة أنه حتى في غياب أي حقل، فإن الإلكترون المحرض «يسقط» باتجاه سوية طاقية أدنى، مصدراً فوتوناً.

كان اينشتاين قد أدخل مفهوم الانتقال الطوعي بالمماثلة مع مفهوم التحلّل الإشعاعي. وهو يعني في الحقيقة أن إلكتروناً محرَّضاً يمكن أن يتميز، تماماً مثل نواة مشعة، «بزمن حياة». وزمن الحياة هو قياس وسطي وإحصائي يحدد اللحظة الدقيقة التي سيقع فيها إلكترون باتجاه سويته الأساسية بأنها لا يمكن التنبؤ بها. وبالمقابل فإن زمن الحياة يدخل على المستوى الكمومي إنكساراً في التناظر بين الماضي والمستقبل: فآلية الانتقال تعبر في الواقع عن أن الإلكترون في مستقبلنا سيترك طوعياً وضعه المحرَّض، تماماً كما أن قانون فورييه يعبر عن أن إختلافاً في درجة الحرارة سيمضي تلقائياً في مستقبلنا إلى تسوية هذا الاختلاف.

وممّا لا شك فيه أن اينشتلين كان واعياً إلى أنه أدخل مع الانتقالات الطوعية والتحريضية عنصراً احتمالياً في وصف الذرة. وقد كتب أن ذاك كان «ضعفاً». إلاّ

أنه من الأكثر أهمية أن نلاحظ أن الذي كان سيصبح أكثر رسل الرؤية التحديدية صلابة يختم موضوعه عام 1916[3] بالتأكيد أن النموذج الذي كان يقترحه كان مع ذلك واعداً إلى أبعد الحدود.

إن إدخال اينشتاين لآلية انتقال طوعية في نموذج بور وسومرفيلد كان يقرن إذن بالوصف ذي النمط الديناميكي للمسارات الثابتة وصفاً من نمط حركي للأحداث الاحتمالية التي تؤلفها القفزات الكمومية الطوعية للإلكترونات باتجاه مسار أدنى. ومن الجدير بالملاحظة أن وصف اينشتاين أثبت مؤخراً من خلال رصد القفزات الكمومية الفردية حيث أصبح ذلك ممكناً اليوم في المختبر. ولهذه القفزات لاانتظام ظاهرة إتفاقية[4].

وقد واجهت النظرية الكمومية الأولى للذرة صعوبات عديدة: وبخاصة أنه لم يكن من الممكن تفسير السويات الطاقية الملاحظة بطريقة مرضية في حالة الذرات ذات الإلكترونات الكثيرة. والانتقال من هذه النظرية إلى الميكانيك الكمومي كما نعرفه اليوم لم يسمح فقط بحل هذه الصعوبات بل وفتح الدرب لنظرية جديدة للجسيمات الأولية ولتفاعلاتها. ومع ذلك، وكما سنرى، كان من نتائجها أيضاً أن تغلق وصف نمط تطور الموضوع الكمومي حول النموذج الوحيد للمنظومة الديناميكية القابلة للتكامل. وأن تفرغ مفهوم الانتقال بما هو حادث لاعكوس من محتواه.

إن القياس الأساسي للميكانيك الكمومي الحالي هو «التابع الموجي»، وقد سمّي هكذا بسبب تشابهه مع معادلة الموجات الضوئية التي يصفها علم البصريات. ومثل هذه الأخيرة فإن التابع الموجي الكمومي يمكن أن يتحلل إلى تراكيبة من الموجات أحادية الطول الموجي (بحيث توافق كل موجة طولاً موجياً معيناً). إن التابع الموجي المؤلف من تراكب هذه الموجات يسلك بطريقة حزمة من الموجات المضيئة: فتطوره عبر الزمن يوافق معادلة عكوسة وتحديدية، وهي معادلة شرودنغر الشهيرة.

ومع ذلك فإن وجود ثابت بلانك h يدخل أول فرق بين الميكانيك الكمومي والفيزياء الكلاسيكية. ويظهر هذا الثابت في العلاقتين اللتين تربطان الخصائص الموجية، التواتر v وطول الموجة λ من جهة، والخصائص الجسيمية، الطاقة وكمية الحركة من جهة أخرى. وهاتان العلاقتان هما $E=hv$ و $\lambda=h/p$. وتربط هذه العلاقة الأخيرة طولاً وكمية حركة. وهي تستتبع أن المتحولات التي كانت

الديناميكا الكلاسيكية تعرفها على أنها مستقلة، المواضع المقاسة بالإحداثيات التي هي أطوال، وكميات الحركة، لم تعد كذلك في الميكانيك الكمومي. ولهذا فإن الفضاء الذي يتطور فيه التابع الموجي الكمومي، فضاء هيلبرت Hilbert، مبني من نصف المتحولات فقط الضرورية لبناء فضاء المراحل الكلاسيكي. إن تعريف فضاء هيلبرت يترجم إذن الثنائية «موجة ـ جسيم»: وهذا الفضاء مبني «إن» بمساعدة إحداثيات «أو» بمساعدة كميات حركة (أو أزمنة).

وليس هذا الاختلاف بالوحيد. فالميكانيك الكمومي يُدخل في الحقيقة في الفيزياء كائنات رياضية هي «المؤثرات». والمؤثر يؤثر على تابع موجي ويحوّله إلى تابع موجي جديد. وعندما تتقلص هذه العملية إلى جداء لتابع الإنطلاق بعدد فإن التابع الموجي يصبح تابعاً خاصاً للمؤثر، والعدد المذكور يصبح أحد قيمه الخاصة.

إن مفهوم المؤثر الذي يؤثر على تابع موجي يعبر عن الوضع الجديد للمقاييس الفيزيائية في الميكانيك الكمومي. ففي الديناميكا الكلاسيكية توافق السرعة قياساً منسوباً لجسم متحرك. لكن المؤثر الذي يحل محل «السرعة» في الميكانيك الكمومي لم يعد صفة مسندة. والتابع الذي يؤثر عليه لا يوافق قياساً فيزيائياً ملاحظاً. فالأشياء القابلة للملاحظة والمراقبة هي «القيم الخاصة» للمؤثرات. فالمؤثر «السرعة» إذ يؤثر على تراكب توابعه الخاصة يعطي مختلف القيم الممكنة للقياس الفيزيائي «السرعة».

ويلعب «المؤثر الهاملتوني» بين المؤثرات الكمومية دوراً هاماً بشكل خاص. ويتعلق الأمر بالمؤثر الذي تكون قيمه الخاصة هي السويات الطاقية المختلفة لـ «الشيء الكوانتي». وتوافق هذه السويات المسارات السكونية التي تحسب بالقاعدة J=nh في النظرية الكمومية القديمة. إن البحث عن التوابع الخاصة والقيم الخاصة للمؤثر الهاملتوني مسألة مماثلة للمسألة التي تشتمل على تمثيل منظومة دينامية كلاسيكية بحيث لا يكون الهاملتوني مرتبطاً إلّا بالأفعال[5]. وتلكم ملاحظة هامة سنعود إليها لاحقاً. ونكتفي الآن بالإشارة إلى أن كل تابع موجي في الميكانيك الكمومي يمكن أن يُمثل كتراكب لتوابع خاصة للمؤثر الهاملتوني.

وكما أن التابع الهاملتوني في الديناميكا الكلاسيكية كان يحدد التطور الزمني للمنظومة الديناميكية، فإن المؤثر الهاملتوني يحدد التطور الزمني للتابع الموجي الكمومي في فضاء هيلبرت. وهذا التطور للتابع الموجي هو تطور سكوني مماثل

لتطور منظومة قابلة للمكاملة. ويوافق كل تابع خاص حالة سكونية مميزة بسوية طاقة محددة تماماً هي قيمة خاصة للمؤثر الهاملتوني. إن معادلة شرودنغر، العكوسة والتحديدية، تصف مجموعة من الحالات السكونية المتراكبة والمتطورة دون تفاعل مع بعضها بعضاً كما لو كان كل منها وحيداً في العالم.

كانت معادلة الموجة في البصريات تصف تطور سعة الموجة. وبالمثل فإن معادلة شرودنغر تصف «سعات الاحتمال». وتتوافق هذه السعات مع «كمونات». وههنا يلعب القياس دوراً أساسياً: فهو يوافق انتقال «سعات» الاحتمال نحو احتمالات بحصر المعنى. وبشكل مثير فإن القياس هو الذي يحيِّن إذن الكمونات، ولا يمكن لهذا التحيين نفسه أن يوصف بمصطلحات تطور التابع الموجي في فضاء هيلبرت. وبشكل تصويري نقول إنه لكي يحسب احتمال نتيجة قياس يجب «الخروج» من فضاء هيلبرت. إن هذا «التقليص للتابع الموجي» هو الذي يُدخل في التفسير المتبع الاحتمالات واللاعكوسية، وهما مفهومان غريبان عن التطور التحديدي والعكوس للتابع الموجي. وهو الذي حرّض التناقض الذي عبّر عنه ري A.I.M. Rae في كتابه المميز بوضوحه Quantum Physics: Illusion or Reality على النحو التالي: «لا تملك المنظومات الكمومية خصائص إلاَّ عندما تقاس هذه الخصائص، في حين أنه ليس ثمة ظاهرياً أي شيء خارج الميكانيك الكمومي لإنجاز هذا القياس[6]». وقد قاد هذا التناقض منذ فون نيومان فيزيائيين لتمييز الوعي البشري على أنه الحقيقة الوحيدة التي يمكن أن تفلت بحق من وصف كمومي وبالتالي أن «تفسر» كيف يمكن للتقليص أن يتم. إنه هو أيضاً الذي قاد بعضهم لإقتراح تعبير «many wolds interpretation[7]» من أجل ترميم موضوعية الميكانيك الكمومي: فتقليص التابع الموجي سيترجم تقليصاً كونياً بحيث سيوافق كل كون أحد التوابع الخاصة التي راكبها التابع الموجي الإبتدائي، وبالتالي وبشكل «موضوعي» هذه المرة قياس القيمة الخاصة الموافقة. إن واقع أن حلاً بهذه الحدية أمكن أن يطرح يعطي درجة الإمتناع التي تصطدم بها كل محاولة فهم الوصف الكمومي الحالي بطريقة واقعية.

إن ثنائية «تطور» التابع الموجي من جهة، و«تقليص» هذا التابع من جهة أخرى، هي ثنائية مقبولة في الحالات التي يمكن للموضوع المدروس فيها أن يعتبر «بذاته» كموضوع عكوس، وحيث يتأتى عنصر اللاعكوسية الوحيد فعلاً من الحادث

اللاعكوس الذي يفترضه القياس. كذا فإن تقليص التابع الموجي يوافق إنتاج «علامة» قابلة للملاحظة بواسطة كائن لا يكسر التناظر الزمني «بذاته ككائن». وتلكم مثلاً حال تسجيل موضع نواس عكوس بواسطة صفيحة فوتوغرافية.

ولكن ألا توجد حوادث كمومية لاعكوسية أصلياً؟ وبشكل خاص إلى ماذا تؤول الانتقالات المحرضة والطوعية بين المسارات السكونية الكمومية التي كانت، في النظرية القديمة العائدة لبور وسومرفيلد واينشتاين، منسوبة للذرة نفسها وليس لفعل المراقبة؟ فهل أن القياس هو حقاً المصدر الوحيد للاعكوسية في الطبيعة؟

في عام 1926 أعطى ديراك التفسير النظري للانتقالات المحرضة والطوعية التي قدمها اينشتاين. ففي حالة الانتقالات المحرضة يجب على تحديد المؤثر الهاملتوني للمنظومة أن يدخل بالتأكيد التفاعل بين الحقل الكهرمغنطيسي الخارجي والذرة. ويمثل هذا التفاعل بمصطلح «التشويش»: فالحقل «يشوش» الحالات السكونية للذرة. وعندها يمكن تشبيه الانتقال المحرِّض بأثر الطنين كما وصفناه في الفصل السابق. إنه يشكل تحوّلاً للطاقة بين الذرّة والحقل يحدّده الطنين بين تواتر للحقل والتواتر الموافق للاختلاف الطاقي للسويات التي يتم بينها هذا الانتقال. وبالمثل بيّن ديراك Dirac أن الانتقالات الطوعية يمكن أن تُفسَّر بالحقل الذي تحرضه الذرة والذي ينعكس بتأثيره عليها.

وتفتح نظرية ديراك آفاقاً جديدة تسمح باعتبارها أساساً لـ «النظرية الكمومية للحقول». وهي تحدّد ما كان متضمناً في فكرة الانتقال الطوعي لاينشتاين: فالذرة لا يمكن أن تعتبر كمنظومة معزولة، فهي تتفاعل عبر الشحنة الكهربائية مع حقل، أي وباختصار مع باقي الكون.

إن لمزاوجة الذرة مع الحقل الذي تحرضه نتائج مميزة. وينتج عنها بشكل خاص «أثر إشعاعي»، هو تعديل للسويات الطاقية للذرة. وقد أثبت لامب Lamb عام 1947 تجريبياً هذا التنبؤ النظري الأساسي. وفي النظرية الكلاسيكية تظهر أيضاً آثار من هذا النوع (أنظر الملحق II).

ولا تحظى المناهج المستخدمة في الفيزياء الكمومية لحساب هذا الانتقال الإشعاعي للسويات بالإجماع: فهي تطبق «تقنية التسوية» التي تعمل على حذف القياسات المتباعدة الناجمة عن حساب التشويش. وأياً كان الأمر فإن التوافق

الرقمي المميز بين التنبؤ النظري و «أثر لامب» الملاحظ يبقى مثالاً مدهشاً للقدرة التنبؤية للميكانيك الكمومي.

فهل الوضع مرض اليوم؟ يجب أن نشير بالدرجة الأولى إلى أن نجاح حساب الإضطرابات يتعلق بضعف التفاعلات الكهرمغنطيسية. فالفيزيائيون يقيسون هذه القوى بمصطلحات الثابت الدقيق البنية، $\alpha = e^2/\hbar c = 1/137$، حيث e شحنة الالكترون، و c سرعة الضوء، و $\hbar$ ثابت بلانك مقسوماً على 2π. فإذا كانت α من رتبة الـ 1، كما في القوى النووية، فإن حساب التشويش لا يعود قابلاً للتطبيق. وبعبارة أكثر فيزيائية، لا يطبق حساب التشويش إلاّ لأن زمن حياة حالة محرضة للالكترون طويلة جداً بالنسبة لدوره، أي وبالمصطلح الحدسي للنظرية الكمومية الأولى بالنسبة للزمن الذي يستغرقه الالكترون لقطع مساره. وهكذا فإن النسبة بين الدور وزمن الحياة في ذرة الهيدروجين من رتبة 10^{-5}: فالالكترون «يدور» وسطياً مائة ألف مرة حول النواة قبل أن يترك حالته المحرَّضة.

لكن النقطة الأساسية بالنسبة لنا هي أنه بخلاف النظرية الكمومية الأولى - التي كانت تجعل من الذرة المعزولة الوحيدة منظومة ميكانيكية وترى في الانتقال الطوعي حدثاً لاعكوساً أصيلاً - تمد نظرية ديراك الوصف الميكانيكي إلى تفاعلات الذرة مع الحقل. وتصبح معادلة شرودنغر قابلة للتطبيق على مجمل منظومة «الذرة+الحقل» ومعها مفهوم سعة الاحتمال. ومذاك فإن الالكترون في هذه النظرية لم يعد «يقفز» من مسار إلى آخر، طالما أن سعات الاحتمال للتابع الموجي المشوش تتطور بطريقة مستمرة خلال الزمن. وبالنتيجة فإن نظرية ديراك لا يمكن أن تعطي معنى دقيقاً لمفهوم زمن الحياة: ويمكن حساب هذا الأخير إنطلاقاً من الحد الأول في حساب التشويش («دستور فرمي Fermi الذهبي»)، لكنه يفقد معناه إذا ما استمر الحساب لأبعد من ذلك. ومن المدهش أن مفهوماً جوهرياً مثل مفهوم زمن الحياة يظهر بالتالي كمتعارض مع الوصف الدقيق للمنظومة(8).

وبالتالي فإن اللاعكوسية والاحتمالات ترجع مرة أخرى لفعل المراقبة ولتقليص التابع الموجي الذي يتضمنها. إن هذا الفعل هو الذي يُدخل الانتقال المتقطع واللاعكوس حيث لا تسمح معادلة شرودنغر بالحديث إلاّ عن تطور مستمر. لكن هذا الإرجاع إلى المراقبة يقود إلى صعوبات تصورية كبيرة. وهذا ما كان قد لاحظه شرودنغر: فلكي يوضح متناقضات هذا التفسير تخيّل مثال القطة

الشهير[9]. وكان الأمر بالنسبة له يتعلق بمعالجة الميكانيك الكمومي وبإظهار أنه لا يستطيع أن يأخذ بعين الاعتبار ما يُفْرَض علينا كحادث جوهري مستقل عن كل فعل قياس.

وقطة شْرودنغر محبوسة في علبة غير نفوذة. وتوجد مع القطة ذرة غير مستقرة ستحرر أجزاؤها «في اللحظة التي» ستتحلل فيها هذه الذرة مطرقة ستكسر حوجلة تحتوي على سم قاتل. ويذكرنا شرودنغر بأن لا شيء في النظرية الكمومية يمنع مبدئياً بوصف مجموعة القطة والذرة والمطرقة والحوجلة إلخ، وذلك بواسطة تابع موجي وحيد خاضع لمعادلته، معادلة شرودنغر. والحالة هذه فإن التابع الموجي الموافق للذرة غير المستقرة يجب أن يمثل كتراكب لاحتمالين: إما نواة سليمة أو نواة محطمة. وبذاك فإن القطة أيضاً «تراكب» هذين الاحتمالين: إما قطة حية أو قطة ميتة بالسم. وبالتالي فإنه من المدهش أنه في اللحظة التي نفتح فيها العلبة فقط والتي يتم فيها الانتقال لسعات الاحتمال باتجاه احتمالات بحصر المعنى إنما سيمكننا الميكانيك الكمومي من القول: إن القطة «إما» ميتة «أو» حية.

إن مثال شرودنغر يعطي صورة أمينة لما يستلزمه مفهوم القياس في الميكانيك الكمومي. وميزة اللانفوذية للعلبة ميزة أساسية إذ أن القياس الكمومي يستتبع مراقبة متقطعة: رفع الغطاء ومعاينة إذا كانت القطة ميتة أم غير ميتة. إن قياساتنا في المخبر لا تشبه أبداً هذا التمثيل. فنحن لا نراقب صفيحة فوتوغرافية بشكل متقطع لكي نعرف إذا كانت قد تأثرت أم لا بإلكترون: بل نحن نراقبها بشكل مستمر لكي نعرف عندما يتم ذلك. ألا يمكننا عندها أن نتصور أن قطة شرودنغر المسكينة وضعت في علبة ذات جدران شفافة دون أن يغير ذلك شيئاً من وضعيتها؟

من المثير أن الأمر لا يجري على هذا النحو في الميكانيك الكمومي. وقد درس ميسرا Misra وسودارشان Sudarshan[10] عام 1966 ما كان سيحدث في الفرضية التي تصبح وفقها الفترات الزمنية بين المراقبات المتكررة للمنظومة غير المستقرة ذاتها ـ ذرة محرضة أو نواة غير مستقرة ـ أقصر حتى يمكن تشبيه هذه المراقبات في النهاية بمراقبة مستمرة. وقد توصلا لنتيجة مفاجئة: «فعندما ينتهي الفاصل الزمني إلى الصفر تؤدي الشكلانية الكمومية إلى الإستنتاج أن الذرة لن تستطيع التخلي عن سويتها المحرضة ولا النواة غير المستقرة أن تتحلل». وذلك ما أسمياه «تناقض زينون Zénon في الميكانيك الكمومي».

إن مراقبة مستمرة حصراً هي أَمْثَلَة بالتأكيد: فكل مراقبة لها زمن منته. بل إن القياس كما يعرفه الميكانيك الكمومي يوافق هو أيضاً أمثلة. ويكمل «تناقض زينون» ما كان شرودنغر يريد الإشارة له من خلال لغز القطة: فالميكانيك الكمومي لا يستطيع الإجابة على مسألة معرفة «متى» تحلل جسيم غير مستقر. وبالتالي فهو يظهر بوضوح كامل الصعوبات التي تحرضها البنية الثنائية لهذه النظرية: التطور العكوس المقرون بلاعكوسية تحرضها المراقبة. وتستتبع هذه الثنائية أننا نستطيع من خلال نمط المراقبة الذي نطبقه على منظومة كمومية أن نرجع إلى الحد المستحيل ظاهرة مثل ظاهرة الإصدار الطوعي للفوتونات أو الإشعاع.

كانت ردود فعل معظم الفيزيائيين على هذا الكشف مماثلة إلى حد مذهل لردود الفعل التي حرضها التفسير الاحتمالي لبولتزمان. وكما سبق ورأينا كانت فكرة أن نمط مراقبتنا ووصفنا المسؤول عن إدخال اللاعكوسية والاحتمالية قد قبلت دون مقاومة. وبالمثّل قبل معظم الفيزيائيين فكرة أن فعل المراقبة هو الذي يدمر سلسلة التراكبات الكمومية بتقليص التابع الموجي كفكرة محتمة. والذين من بينهم لم يصلوا إلى حد نسب هذا الدور للوعي الإنساني قدموا غالباً فرضية أن هذا التدمير يرتبط بواقع أن عملية القياس تكتسي صفة «التقريب». وكما أن المراقب الذي تخيّله بولتزمان كان غير قادر على تتبع الحركة الإفرادية العكوسة للجسيمات كذلك فإن الشكل الفظ لقياساتنا لن يسمح لنا بتمييز الفارق بين القطة الميتة ـ الحية التي تصادرها النظرية الكمومية والقطة الميتة «أو» الحية التي نراقبها.

هكذا أصبحت أحجية قطة شرودنغر رمز التدخل الإنساني في العالم الكمومي: فإذا كان هذا التدخل يرجع إلى الوعي البشري أو للصفة «العيانية فقط» لأدواتنا، فبه إنما تتعلق كما يبدو إمكانية التحدث عن القطة كميتة أو حية.

إننا لا نعتقد أن تناقض قطة شرودنغر وتناقض زينون يرجعان فقط لأسباب تفسيرية. فواقع أن الميكانيك الكمومي لا يستطيع التعبير عن احتمال أن انتقالاً كمومياً يتم «في لحظة معينة» يعبر في نظرنا عن حقيقة أن هذه الشكلية ـ التي وصفها أحد مؤسسيها، ماكس بورن Max Born، منذ عام 1927 على أنها نهائية: «إننا نعدّ أن الميكانيك الكمومي هو نظرية كاملة، وأن فرضياته أكانت فيزيائية أم رياضية غير قابلة لتعديلات جديدة(12)» ـ ليست كاملة في الحقيقة.

ألا نستطيع أن نأمل «بتعديل» الفرضيات الفيزيائية والرياضية للميكانيك

الكمومي على الرغم من أن القـدرة التنبؤية لهـذه الشكلية لم تحقق أبـداً بعد مضي ستين عاماً على تصريح بورن؟ وهل بإمكاننا إرجاع معنى جوهريـاً لمفهوم الحـادث الكمومي؟ إن تاريخ العلوم يبين لنا أنه يمكن لنظرية أن تعاني من تحول جذري في حين أن تنبؤاتها لن تعاني عند نقطة الابتـداء إلاّ من تغيرات ضعيفـة. وهكذا كـانت الـديناميكـا الكلاسيكيـة تتعامـل مع تفـاعلات طـوعية في حين أن هـذه التفاعـلات بحسب النسبية تنتشر بسرعة منتهية. وعلى الرغم من هـذا الاختلاف الأسـاسي فإن النظريتين تقودان إلى نتائج قريبة جداً في مجال الديناميكا السماوية.

ويجب أن نشيـر إلى أننـا نضـع أنفسنـا في منـظور مختلف جـداً عن منـظور اينشتاين وعن جميع الـذين أرادوا من بعـده المضي «إلى مـا وراء» الميكـانيـك الكمومي. وقد كرر أينشتاين عام 1949 في «وصيته» العلمية نقد شرودنغر، لكنه كان يأمل، كما كان يأمل هذا الأخير من جهة أخرى، بـأن تقدمـاً للفيزيـاء كان سيسمـح بـالعودة إلى التحـديديـة الكلاسيكيـة. ونحن نحـاول على العكس أن نعـطي معنى أساسياً لمفهوم زمن الحياة كما فرض نفسه تجريبياً: إنه مفهوم احتمالي أسـاسـاً يعبر عن صفة عدم قابلية ضبط الحادث. وفي حين أن معظم انتقادات الشكلية الكمومية كانت تحاول بشكل أو بآخر العودة إلى تمثيـل كلاسيكي تحـديدي فـإننا نـنطلق من فكرة أن الصفة الاحتمالية لهذه النظرية هي التي يجب التشديد عليها.

وكـان بـاولي Pauli في رسـالـة إلى بـورن قـد لاحظ فيمـا يخصّ انتقـادات شرودنغر واينشتاين وبوم Bohm: «من الممكن أنه في المستقبـل. . . سيتم اكتشاف شيء جديد كلياً، لكن الحلم بالعـودة إلى الوراء نحـو الأسلوب الكلاسيكي لنيـوتن وماكسويل (وما يلذ لهؤلاء السادة ليس شيئاً آخر سوى حلم)، فإن هذا يبـدو لي بلا طـائـل وفي غيـر محله ومقيت الـذوق. ويمكننـا أن نضيف أنـه ليس حتى حلمـاً مرغوباً[13]».

وإننا نقاسم باولي رأيه: «فما ذاك بحلم مرغـوب». ولكن هل من الممكن أن ننقـل في الميكانيـك الكمومي الـطريق الذي قـادنا في الـديناميكـا الكلاسيكيـة من مفهوم المسار العكوس إلى مفهوم التطور الديناميكي الاحتمالي بجـوهره؟ وهـل من الممكن «فتح» الميكانيك الكمومي هو أيضاً «لرسالة الانتروبيـا»؟ إننا لنستشف كمـا سنوضح لاحقاً إجابة إيجابية لهذا السؤال.

لقد وصفنا خلال الفصل السـابق النظريـة الحركيـة المتمركـزة حول مفهـومي

الصدم وديناميكية العلاقات الناشئة عن هذه التصادمات. وهنا أيضاً فإن نظرية من نمط حركي هي التي ستستطيع أن تحل محل النظرية الحالية المتمركزة حول تطور التابع الموجي في فضاء هيلبرت. ويجب أن يسمح لنا هذا الحلول بالتأكيد أن نحدد في أية حالات سيحفظ الوصف الحالي مصداقيته. وفي الواقع فإننا نعرف اليوم في الميكانيك الكمومي، إلى جانب المنظومات التي فُرض بالنسبة لها دائماً استدلال من نمط حركي كـ«تقريب مستمر»، منظومات أخرى ذات سلوك عياني مترابط: النواقل الفائقة على سبيل المثال. وفي مثل هذه الحالات يبقى التمثيل الحالي بمصطلحات التوابع الموجية ملائماً.

إن منظورنا قريب إذن ممّا كان بوبر يسميه «حلمه الميتافيزيائي»: «من المرجح أنه حتى لو لم يكن هناك «موضوع مراقب» يجرب ويتداخل مع العالم فإن العالم سيكون غير تحديدي بالدرجة نفسها التي هو عليها[14]». وفي الحقيقة فإن التخلي عن التابع الموجي يسمح، كما سنرى، بإعطاء معنى للحادث الكمومي اللاعكوس جوهرياً، أي حل «التناقضات» الأساسية التي كانت قد حرضت شكوى «الذاتية» ضد الميكانيك الكمومي.

وكما سبق وقلنا فإن الميكانيك الكمومي يناسب المقاييس الفيزيائية بمؤثرات لا تتبدل عموماً فيما بينها. وهكذا، وبسبب أن المؤثرين الموافقين للزمن وللموضع لا يتبادلان فيما بينهما إنما لا نستطيع أن ننسب في آن واحد موضعاً وزمناً محددين تماماً ككائن كمومي. وهذا ما تعبر عنه علاقة الإرتياب الشهيرة لهايزنبرغ $\Delta p \Delta q \geqslant \hbar$. في الديناميكا الكلاسيكية من الممكن بشكل مثالي تمييز الحالة الآنية لمنظومة ديناميكية من خلال مواضع وأزمنة (أو سرعات) دقيقة بقدر ما نريد وذلك أن هذه المتحولات مستقلة. أما في الميكانيك الكمومي فإنها لا تعود كذلك، ويجب اختيار تمثيل ـ مجموعة توابع خاصة ـ أو آخر. وكما كان بور قد أشار إلى ذلك، فإن هذا الاختيار يوافق اختيار جهاز القياس، والطريقة التي يختارها المراقب لكي يتداخل مع الكائن الكمومي ليستخلص منه هذا النمط أو ذاك من المعلومات. وبالتالي فإن نمطي القياس متكاملان. فإذا حددنا الموضع بدقة لن نستطيع أن نحدد الزمن في الوقت نفسه، والعكس بالعكس.

ثمة علاقة ارتياب أخرى تجمع في الميكانيك الكمومي الطاقة والزمن: $\Delta E \Delta t \geqslant \hbar$. وقد أثارت هذه العلاقة الشبيهة ظاهرياً بالسابقة عدداً كبيراً من

النقاشات. وفي الحقيقة لا يمكن فهم هذه العلاقة على أنها تعبر عن الصفة المكملة لنمطي القياس. فالميكانيك الكمومي لا يعرف مؤثراً «للزمن». ومذاك لا نستطيع الحديث عن لاتبادلية بين المؤثر «الزمن» والمؤثر «الطاقة». ومع ذلك فإن علاقة الإرتياب بين الزمن والطاقة أساسية في وصف الحالات الكمومية لفترة حياة منتهية. وفي هذه الحالة فإن الإرتياب في زمن Δt مرتبط بزمن حياة t من الحالة غير المستقرة. وبشكل أدق نأخذ $\Delta t=2\tau$ ونكتب علاقة الإرتياب بالشكل $\Delta E \geqslant \hbar/2\tau$. وهكذا تجمع هذه العلاقة زمن الحياة المميز لحالة محرضة وتبدد الطاقة الموافق لهذه الحالة، أي لمدى إنزياح الخط الطيفي.

لنشدد على الاختلاف بين هذه العلاقة وعلاقات الإرتياب لهايزنبرغ. إن زمن الحياة هو قياس فيزيائي محدد تماماً. وهو يأخذ بالنسبة لكل نمط تجربة قيمة عددية محددة. ومذاك فإن العلاقة $\Delta E \geqslant \hbar/2\tau$ تثبت حداً أصلياً للدقة التي نستطيع معها قياس قياسٍ وحيد، وهو في هذه الحالة طاقة حالة ساكنة تتميز بزمن حياة منته.

يترجم إذن في الحقيقة الاختلاف بين علاقات الإرتياب لهايزنبرغ والعلاقة التي تجمع تبدّد الطاقة وزمن الحياة الاختلاف بين نمط الوضعيات التجريبية التي كان بور قد بنى فيما يخصها فكرة التكاملية، والنمط الذي يرجع عند مراقبة إصدار آني للفوتونات أو تحلّل إشعاعي. ففي الحالة الأولى يوافق القياس مبادرة المجرب. وفي الحالة الثانية لا يتحدد الحادث بالتداخل مع جهاز قياس: ففي كل الأحوال يتم إصدار الفوتون حيث تتحلل النواة ونكتفي بتسجيل الظاهرة.

ربما كان هذا التعميق لمسألة ما نستطيع قياسه ولمختلف أنماط الصلات التي يمكننا إقامتها مع كائن كمومي أحد تلك التطورات التي كان روزنفيلد Rosenfeld يستبصر إمكانيتها عندما كتب: «سيكون من الإنكار بالتأكيد لكل التعاليم التي تشبثنا باستخلاصها من التطور الماضي للعلم الإدعاء فجأة بتشييد التكاملية في عقيدة يجب ألا يتم تجاوزها أبداً. وعلى العكس تماماً إذا كان ثمة تنبؤ يمكن استخلاصه من دروس التاريخ فهو أنه يجب أن نتوقع مزيداً من التجددات لإدراكنا للصلات بين مختلف جوانب الظاهرات، ليس بالتأكيد بمعنى عودة للسببية الكلاسيكية، بل بالأحرى من خلال إرساء صلات جديدة من التكاملية، في مجال الفيزياء نفسه كما وبالمقدار نفسه ربما في مجالات أخرى لا

يزال الفيزيائي بعيداً عن الخوض فيها إلّا بإستحياء[15]».

لنكتب علاقة الإرتياب $\Delta E \geqslant \hbar/2\tau$ بصيغة تبرز شبهها مع التوزعات الإحصائية التي نصادفها في النظرية الحركية. ويعرف التوزع الإحصائي للطاقة بالفارق بين القيمة الوسطية لمربع الطاقة $\overline{E^2}$ ومربع الطاقة الوسطية $(\overline{E})^2$. سنكتب إذن $\overline{E^2} - (\overline{E})^2 > (\hbar/2z)^2$. ويمكننا أن نشير للتشابه مع التوزع «المكسويلي» للسرعات الموافق لحالة التوازن: فهنا أيضاً تختلف القيمة الوسطية للسرعة مرفوعة للتربيع عن مربع السرعة الوسطية بشكل عام. وفي حين أن الأولى $\overline{v^2}$ تتناسب مع درجة الحرارة، فإن الثانية $(\overline{v})^2$ تكون تماماً مثل $\overline{v}$ معدومة في منظومة ساكنة بالنسبة لمرجعها.

من الواضح أننا لو أردنا أن نأخذ على محمل الجد مفهوم زمن الحياة وعلاقة الإرتياب المقترنة بها فإنه من الضروري أن نعدل مفهوم المراقب في الميكانيك الكمومي وأن نعطي للتوزع الإحتمالي للطاقة معنى جوهرياً مستقلاً عن فعل المراقبة. فالوضع مماثل إذن للذي وصفناه في الفصل الخامس. إن وجود منظومات مميزة بأزمنة حياة منتهية يستتبع، بالنسبة لمثل هذه المنظومات، أن مفهوم سوية الطاقة المعين تماماً يكف ـ تماماً مثل مفهوم المسار بالنسبة للمنظومات الديناميكية الهبائية ـ عن أن يكون محدداً تماماً. وفي الحالات التي يجب أن يهجر فيها هذا المفهوم إنما يحل تمثيل من نمط حركي محل تمثيل لمنظومة كمومية بمصطلحات توابع خاصة متطورة في فضاء هيلبرت.

وكما سبق وأشرنا، فإن واقع أن الحالات السكونية المحرَّضة تكون غير مستقرة، وبالتالي متميزة بحياة وسطية، يفسر منذ ديراك بالطنين، انتقال الطاقة غير القابل للضبط بين الذرة والحقل الذي تحرضه. والحالة هذه فإن الذرة المتفاعلة مع حقلها تشكل «منظومة كمومية كبيرة» يمكن مد مبرهنة بوانكاريه إليها كما بيّنا[16]. وفي الواقع فإن التحول في هذه الحالة الذي يحرف المؤثر الهاملتوني يتشعب، الأمر الذي يعني أنه يصبح من المستحيل تحديد التوابع الخاصة والقيم الخاصة لهذا المؤثر، أي تحديد سويات الطاقة المقترنة بالقيم الخاصة للهاملتوني.

إن «كارثة» بوانكاريه تتكرر إذن في هذه الحالة: فعلى عكس ما كان يفترض التمثيل الكمومي المتبع، فإن المنظومات المميزة بوجود مثل هذا الطنين «لا يمكن أن توصف بعبارات تراكب التوابع الخاصة للمؤثر الهاملتوني، أي لامتغيرات

الحركة. وبالتالي فإن المنظومات الكمومية المميزة بأزمنة حياة متوسطة، أو بسلوك موافق «لتصادمات»، تؤلف الشكل الكمومي للمنظومات الديناميكية ذات السلوك الهبائي التي سبق ودرسناها.

لقد رأينا في الفصل الخامس أنه في حالة المنظومات الكلاسيكية الكبيرة كان يمكن لنمط جديد من التحول غير الموحّد أن يحل محل التحوّل الموحّد التقليدي. وفي حين أن هذا الأخير كان يقود لتمثيل الهاملتوني بمصطلحات الأفعال وحدها، فإن التحول الأول كان يقود إلى تمثيل من نمط حركي للمنظومة ذي تناظر زمني مكسور. وبالمثل فقد بيّنا في حالة المنظومات الكمومية الكبيرة أن نمطاً جديداً للتحوّل، غير الموحّد، يسمح بتجنّب التباعدات التي تمنع إنحراف الهاملتوني. إنه يقود إلى وصف تطور المنظومة بواسطة شكل معادلة حركية ذات تناظر زمني مكسور[17].

لن يمكننا هنا الدخول في تفاصيل ذات تقنية عالية جداً. ولنشر مع ذلك إلى التماثل العميق بين الوضع الذي يواجهنا في الميكانيك الكمومي وذلك الذي حللناه في الديناميكا الكلاسيكية. وهكذا فإن مبرهنة التكرار لبوانكاريه، التي تنذر كل منظومة ديناميكية للمرور في المستقبل عبر حالتها الإبتدائية، تصحّ أيضاً في الميكانيك الكمومي: فسلوك منظومة كمومية منتهية هو شبه دوري. ومع ذلك، في حالة المنظومة الكمومية الكبيرة، ينتهي هذا الدور إلى اللانهاية. وتماماً كما أن وجود أفق زمني، يحد بشكل جوهري إمكانياتنا في التنبؤ، كان يُفقد العودة الدورية لمنظومة ديناميكية هبائية باتجاه حالتها الإبتدائية معناها، كذلك فإن أزمنة الحياة أو الراحة هنا تخلق سلماً زمنياً جوهرياً تفقد بالنسبة له الصفة شبه الدورية لسلوك منظومة كمومية كبيرة معناها.

وكما في الحالة الكلاسيكية يجب أن نشير إلى أن مفهوم «المنظومة الكبيرة» لا يكفي لفرض التخلي عن النموذج القابل للتكامل. وتعطينا الناقلية الفائقة بشكل خاص مثالاً على منظومة كمومية كبيرة ذات سلوك متجانس. ومع ذلك يجب أن نلاحظ أن مفهوم «المنظومة الكمومية الكبيرة» أكثر إتساعاً بكثير من مثيله الكلاسيكي. إنه يشمل في الواقع حالة الذرة المتداخلة مع الحقل الذي تحرضه وليس فقط المنظومات المؤلفة من عدد كبير من الذرات.

وبالنظر إلى الماضي يمكننا أن نفهم بشكل أفضل بنية أول نظرية كمومية.

وفي الواقع فإنه فقط في الحالة التي لا تكون فيها الذرة مزاوجة بحقل إنما يمكن وصفها بعبارات لامتغيرات وحالات سكونية مستقرة. وفي الحالة التي يحرض فيها اقتران مع حقل ظاهرات طنين، يفرض نفسه الوصف الاحتمالي بجوهره للانتقالات المحرضة والطوعية، المماثل للوصف الحركي لبولتزمان.

إن للتخلي عن نموذج المنظومات القابلة للمكاملة نتائج جذرية في الميكانيك الكمومي بقدر ما هي كذلك في الميكانيك الكلاسيكي. وفي هذه الحالة الأخيرة كان يستتبع التخلي عن مفهوم النقطة وقانون التطور العكوس الموافق له. وفي الحالة الثانية فإنه يقتضي التخلي عن التابع الموجي وعن تطوره العكوس في فضاء هيلبرت. وفي كلتا الحالتين يكون لهذا التخلي المعنى نفسه: إنه يسمح لنا بفك رموز «رسالة» الانتروبيا.

والتخلي عن التابع الموجي الخاضع لقانون تطور عكوس، كما التخلي عن النقطة وعن مسارها، يميز في الواقع الصفة اللاشرعية ـ باستثناء صف خاص من الحالات المحدودة ـ لمثال التحديد والضبط الذي كانت تستلزمه هذه المفاهيم. إن الذرة المتفاعلة مع حقلها لا تملك صفة الضبط التي تفترضها لها معادلة شرودنغر. وكما يستحيل علينا بعد أزمنة تطور طويلة بالنسبة لزمن ليابونوف أن نعدّ من خلال عكس السرعات منظومة بحيث «ترجع» باتجاه حالتها الابتدائية ـ أي المكافحة ضد «النسيان» اللاعكوس للصلات التي تخلقها التصادمات ـ، كذلك يستحيل علينا أن نحضر حالة ابتدائية محرضة بحيث أن الذرة لا تستطيع العودة إلى حالتها الأساسية. وفي الحالتين يترجم فقدان الضبط هذا بوصف ذي تناظر زمني مكسور وغير محلي. ومحل سويات الطاقة المحددة تماماً يحل توزع إحصائي للطاقة التي يكون تبدّدها متناسباً عكساً مع زمن الحياة. يسمح إذن التخلي عن النموذج التكاملي بإعطاء العلاقة $\Delta E \geqslant \hbar/2\tau$ معناها الدقيق.

إننا لا نستطيع هنا وصف التحوّل العميق للبنى الرياضية للنظرية الكمومية ولتعريف الأشياء القابلة للمراقبة الذي يستتبعه هذا الوصف الجديد، والذي لا يزال في طور الإعداد. ولنكتفي بأن نوضح أنه، كما أن علاقات الإرتياب لهايزنبرغ تنطوي على الصفة اللاتبادلية للمؤثرات الكمومية، فإن تبدّد الطاقة ينطوي على مؤثرات «غير قابلة للتوزيع» بالنسبة للجداء.

ولا نزال اليوم في المرحلة الابتدائية من تأليف نظرية كمومية «دون تابع

موجي» ستحل محل التابع الموجي المتطور في فضاء هيلبرت من خلال معادلة من نمط حركي. ومع ذلك فإننا نتوصل إلى تقديرات جديدة تخص «تعارض زينون» وسويات الطاقة للحالات المميزة بزمن حياة منتهٍ.

إن المقاربة الحركية تحذف تعارض زينون الذي وفقه، إذا كان الزمن الذي يفصل مراقبتين ينتهي إلى الصفر، فإن ذرة لن تستطيع ترك حالتها المحرضة، كما أن نواة غير مستقرة لن تستطيع أن تتحلل. إن مواجهة بين التنبؤات التجريبية للميكانيك الكمومي المألوف وللمقاربة الحركية صعبة الإدراك فيما يخصّ الحالات التحريضية الأولى لذرة الهيدروجين. وهي تستتبع في الواقع أن الفاصل بين قياسين متتاليين يكون قصيراً بالنسبة للزمن المداري الذي يميز حالة محرضة (مقلوب تواترها). وفي حالة الحالة المحرضة الأولى لذرة الهيدروجين يكون هذا الزمن المتعلق بالمسار من رتبة 10^{-15} ثانية. وستلزم بالتالي قياسات ذات تحليل زمني فائق جداً. ومع ذلك، وفيما يخص الحالات عالية التحريض (ذات الرقم الكمومي من رتبة 100)، فإن هذا الزمن المساري يصبح من رتبة 10^{-9} فقط ويكون من الممكن بالتالي تحقيق التجربة في المستقبل.

والنتيجة الثانية التي نتوقعها هي انتقال للسويات الطاقية للذرة المرتبطة بزمن حياة هذه السويات (أنظر الملحق II). وكما زمن الحياة نفسه فإن هذا الانتقال سيميز مستقبل الذرة عن ماضيها. وسيعني ذلك أن أبسط المنظومات الكمومية، ذرة الهيدروجين، ستصبح معلمة بسهم الزمن الذي تتقاسمه مع باقي الكون.

ويتعلق الانتقال المتنبأ به بشكل أساسي بالمعامل ρ، النسبة بين «زمن عكوس»، الزمن المداري المميز للسوية الطاقية، وزمن حياتها الذي يوافق من جهته سيرورة لاعكوسة. وفي حالة ذرة لنواتها شحنة z يبين الميكانيك الكمومي أن رتبة قياس ρ هي من المقدار $z^2\alpha^3$، حيث α هي ثابت دقيق البنية. نذكر أن قيمته تساوي 1/137. والفارق بالنسبة لتنبؤات الميكانيك الكمومي سيبدأ مع مربع ρ وسيصبح بالتالي بالنسبة لذرة الهيدروجين من الرتبة 10^{-13}.

وفيما يتعلق بالأوضاع التجريبية المألوفة فإن الفارق الذي نتنبأ به يكون إذن ضعيفاً جداً بحيث يصعب قياسه ـ وهذا لحسن الحظ، إذ لدينا الدقة التي تثبت معها، كما سبق وأشرنا المراقبات التجريبية الحالية، التنبؤات النظرية. ومع ذلك من الممكن تصور وضعيات تجريبية بحيث أن الإنتقال الذي نتنبأ به يصبح قابلاً

للقياس. وهكذا تبدو حالة الذرة ذات «السويات الثلاث» هامة بشكل خاص، أي حالة ذرة نعد حالتها الأساسية 0 وحالتيها المحرضتين 1 و 2 حالات قريبة من بعضها بعضاً إلى أقصى حد، وبحيث أن إلكتروناً يقع في الحالة 2 لا يستطيع العودة مباشرة للحالة الأساسية، إنما عليه أولاً أن يمر عبر السوية 1. وتلكم هي الوضعية الموافقة لذرة الهيدروجين حيث، بعد السوية الأساسية (المسماة 1s)، لدينا سويتين محرضتين متقاربتين جداً (السويتين 2s و 2p). وللسوية 2s طاقة أعلى بقليل من طاقة السوية 2p ويوافق الاختلاف تحديداً أثر لامب الذي ذكرناه سابقاً. إن للحالة 2p زمن حياة أقصر بكثير من الحالة 2s. ويتعلق المعامل ρ بالتالي بالزمن «العكوس» المرتبط بالانتقال 2s→2p وهو من الرتبة 10^{-9} ثانية. وبإخراج الحالة 2s من وضع الاستقرار بواسطة حقل كهرمغنطيسي مؤثر يمكننا تحديد وضعية تصبح فيها النتائج المقدرة قابلة للقياس فعلياً.

كان أحد أكبر نجاحات الكهرديناميكا الكمومية استخدامها كنموذج لنظرية التفاعلات القوية. ومع ذلك، من وجهة النظر التي ندافع عنها هنا، فإن البنية الحالية للكهرديناميكا الكمومية تعبر عن خصوصيتها، القيمة الضعيفة للثابت الدقيق البنية α، ومذاك النتائج المرتبطة باللاعكوسية الجوهرية للسلوك الكمومي. ذلك أنه في حالة التفاعلات القوية يكون الوضع مختلفاً تماماً. فموضوع فيزياء الطاقات العالية نفسه ليس شيئاً آخر إلا شلالات التحوّلات، والتي تكون أكثر تنوّعاً كلما كانت الطاقة أكبر، والتي تبدّد على امتدادها الجسيمات الأولية الداخلة في التصادم طاقتها بخلق جسيمات جديدة. والحال أن في حالة التفاعلات القوية يكون القياس الذي يلعب دوراً مكافئاً للثابت الدقيق البنية α وبالتالي أيضاً للمعامل ρ من الرتبة 1. وبالتالي فإن النتائج التبددية يجب أن تصبح أكبر بكثير.

لقد لعب التفاعل بين المادة والضوء دوراً أساسياً في فيزياء القرن العشرين. ويرجع أصل مفهوم كمّ الطاقة الضوئية الذي يشكل أساس الميكانيك الكمومي إلى الدراسة التي قام بها بلانك لإشعاع «الأجسام السوداء»، وكما رأينا فقد شكل اينشتاين أيضاً ابتداء من التوزع الطاقي لإشعاع الجسم الأسود وصفه للخطوط الطيفية بمصطلحي الانتقالات المحرضة والطوعية. والحال أن ذلك كما ذكّر به توماس كوهن[18] كان في الأصل من أجل محاولة إعطاء التطور اللاعكوس باتجاه التوازن تفسيراً يتغلب على العقبات التي واجهها بولتزمان، وذلك كان سبب تعهد

ماكس بلانك دراسة «إشعاع الجسم الأسود». وإشعاع الجسم الأسود هو في الواقع نهاية تطور «ينسى» خلاله وبشكل لاعكوس إشعاع ضوئي، تمتصه وتعيد إصداره الذرات التي تشكل جدران التجويف الذي يحتويه، توزعه الطاقي الابتدائي بحيث لا يعود متعلقاً إلّا بدرجة حرارة التجويف. وكان بلانك يأمل أن آلية التفاعل بين المادة والضوء، الامتصاص والإصدار، ستشكل آلية التطور اللاعكوس بجوهره الذي كان بولتزمان قد أمل ـ وكان محقاً في ذلك كما نعلم اليوم ـ بإيجاده في التصادم.

ومع فرضية انزياح للسويات الطاقية للذرة مرتبط بزمن حياتها فإننا نستعيد أمل بلانك الأول بربط اللاعكوسية والتفاعل بين المادة والضوء. وفي الحقيقة فإن هذا الإنزياح يمكن أن يفسر فيزيائياً كنتيجة لـ «فرملة الإشعاع». ومثل هذا الأثر يظهر في النظرية الكلاسيكية التي تتنبأ بأن نواساً مشحوناً يصدر إشعاعاً ويعاني لهذا السبب من فرملة تغيّر تواتره. زد على ذلك أنه من أجل الإلتفاف على هذه المسألة، في حالة الإلكترونات الدائرة حول النواة، إنما كان على بور أن يدخل مفهوم المدار الساكن، أي مصادرة أن الإلكترون المتحرك لا يبدّد طاقته بشكل لاعكوس. إلّا أن ذلك ليس سوى مقاربة أولى صححتها الانتقالات الطوعية والمحرضة لاينشتاين.

ونصل هكذا إلى «تأليف» بين النظرية الكمومية الأولى، التي غذتها بشكل أساسي الترموديناميكا الإحصائية، والنظرية الثانية التي عملت على إعطاء تفسير ميكانيكي صرف للسيرورات الناتجة عن الاقتران بين ذرة وحقل كهرمغنطيسي. إن الذرة العكوسة في الميكانيك الكمومي هي أُمْثَلَة، والتعريف الجوهري للذرة مرتبط بالسيرورة المبدّدة التي تنجم عن مزاوجتها مع حقلها. وتظهر القوانين العكوسة من بعد مرتبطة بحالات محدودة. لكن هذا التأليف ليس سوى خطوة أولى. ولا يزال ثمة حقل واسع بانتظار استشكافه. إن العالم الكمومي هو عالم سيرورة يجب على وصفه، بالمعنى ذاته في وصف اقتران الذرة مع حقلها، أن يجعل سهم الزمن واضحاً وصريحاً. وعلى كل المستويات يدخل وصفنا الحالي مفهومي الطنين والتصادم، ويمكننا بالتالي أن نتوقع العثور فيه على ظاهرات لاعكوسة بجوهرها.

يمكننا في نهاية هذا الفصل قياس الطريق الذي سلكناه حتى الآن. ففي حين أن قوانين الفيزياء الكلاسيكية كانت تنفي سهم الزمن، يمكننا اليوم التأكيد أن الصيرورة اللاعكوسة تميز كافة الكائنات الفيزيائية. وهكذا فإن الإنقلاب كامل

بالنسبة للمنظور التقليدي الذي كان يطابق اللاعكوسية مع الوصف الظاهراتي: فإذا كانت التجربة تؤيّد تنبؤاتنا، فليس ثمة وجود لمنظومة كمومية عكوسة بحصر المعنى. وضمن هذا المنظور فإن نجاح الوصف العكوس للميكانيك الكمومي التقليدي، بعيداً عن التعبير عن حقيقة «جوهرية» فيما يخصّ الواقع، يعبر عن خصوصية التفاعل بين الذرة والحقل الكهرمغنطيسي، أي عن القيمة الضعيفة للثابت ذي البنية الدقيقة. والذرة بنية مستقرة لا تميز إلاّ بطريقة شبه غير ملحوظة من خلال الصيرورة اللاعكوسة التي تشارك فيها. وتعبر هذه الخصوصية بذاتها عن خصوصية كوننا «الفاتر» حيث يمكن أن توجد وتكون معزولة البنى المستقرة التي هي الذرات. وبالمقابل، في الكون الحار الذي كان موجوداً بحسب النظريات الحالية، الكون الذي كان خلال الثلاثمائة ألف سنة الأولى، كما وأيضاً في التصادمات عالية الطاقة التي تدرسها فيزياء الطاقات العالية، إنما على الفيزياء أن تكون علماً لسيرورات لاعكوسة جوهرياً.

وبشكل إستعادي تتوضح من جهة أخرى المسألة التي طالما أثارت الجدل للمراقبة في الميكانيك الكمومي. إن اللاعكوسية التي كان يدخلها فعل المراقبة بشكل إعتباطي ظاهرياً في الميكانيك الكمومي هي شرط ضروري للمعرفة. والسمة اللارصدية بذاتها للعالم التي تصفها النظرية الكمومية الحالية هي النتيجة المباشرة لدور النموذج الذي لعبه في بنائها مفهوم المنظومة الديناميكية القابلة للتكامل: فشيء مدرك على أنه عكوس جوهرياً يجعل إمكانية رصده الخاصة غير معقولة. ويسمح لنا اليوم تصنيف المنظومات الديناميكية بتحديد حدود هذا النموذج وإيجاد شكل للواقعية، وفقاً لحلم كارل بوبر الميتافيزيائي، متمركز ليس حول مفهوم التطور التحديدي، بل حول مفهوم «الحادث». فالأحداث هي التي تسمح بحوارنا التجريبي مع العالم الصغري، ولها إنما على نظرية واقعية للعالم أن تعطي المعنى للإفلات من التناقضات التي سكنت الميكانيك الكمومي منذ وجوده.

وهكذا يمكننا أن نفهم بشكل أفضل حجج نيلز بور فيما يتعلق بضرورة إدخال تعريف الجهاز التجريبي في تعريف الظاهرة. وتشكل هذه الحجج في الواقع حدود الشكلانية الحالية المؤسسة على نموذج المنظومات القابلة للتكامل. وتستتبع مصداقية هذا النموذج أن الحادث الذي يكون الموضوع الكمومي ابتداء منه قابلاً للمطابقة بما هو كذلك لا يميز هذا الموضوع بطريقة جوهرية بل يميز تفاعله مع

جهاز تجريبي. ومع ذلك كان دائماً ضعف حجة بور غياب تعريف جوهري لما يكونه جهاز تجريبي. أولم نكن نحن الذين «قررنا» اعتبار منظومة كمومية كبيرة كأداة وليس كموضوع كمومي، يوصف مباشرة بتراكب للتوابع الخاصة؛ إنما عندها بدأ الانكفاء الذي قاد أخيراً، كما كان قد بيّن فون نيومان، إلى وعي المراقِب.

غير أن درب هذا الانكفاء قطعت من بعد، ليس بواسطة قرار تعسفي، بل بواسطة النظرية نفسها. فالمسألة ليست أن نعرف «أين» نختار التخلي عن الوصف الكمومي بمصطلحات التوابع الموجية المتطورة في فضاء هيلبرت، بل أن نعرف أين تكف الشكلانية المؤسسة على مفهوم المنظومة الديناميكية القابلة للتكامل عن أن تكون صحيحة: على مستوى الحادث الكمومي نفسه، كما هي حالة الانتقالات الإلكترونية، أو على مستوى التفاعل الذي يسمح بالكشف بواسطة أداة قياس. إن ثنائية الشكلانية الكمومية الحالية، التي تجمع معاً تطور تابع موجي هو تراكب توابع خاصة مع اختزاله الذي يكسر هذا التراكب، تجد بالتالي معناها الفيزيائي في «تصنيف المنظومات الديناميكية». إن الحادث الكمومي المميز بزمن حياة، وليس «فعل المراقبة»، هو الذي يكسر التراكب الكمومي.

إن مسيرتنا كما سبق وقلنا في مقدمة هذا الكتاب هي مسيرة انفتاح واستمرارية في آن واحد. انفتاح باتجاه تجانس جديد للفيزياء، واستمرارية تسمح لنا بفهم انجاحات النظريات السابقة بل وجوازها أيضاً. ويضعنا جواز الحدوث هذا في التاريخ الإنساني ـ التاريخ الذي قاد إلى تفضيل السكونية القابلة للتنبؤ لحركات الأجرام بالنسبة للصفة الشواشية في رمي النرد على سبيل المثال ـ بل وإلى تاريخ الكون أيضاً. ولا يعني الجواز بالتأكيد في أي من الحالتين الإعتباطية. كيف ندهش لأن الرجوع المنتظم للكواكب كان قد صدم المخيلة وحرض اهتمام البشر منذ أقدم العصور؟ وبالمثل فإن واقع أن يكون كوننا فاتراً، ويسمح بوجود الذرات الساكنة، هو أيضاً شرط بناء الجزيئات وظهور الكائنات الحية. ومع ذلك فإن إمكانية تأكيد عالمية سهم الزمن، أي تجاوز ازدواجية جواز تاريخ الفيزياء وتاريخ الكون، لا تسمح لنا بفهم التجانس العميق لما كانت الفيزياء التقليدية تعارضه كـ «ظاهراتي» أو «جوهري»، السيرورات الفيزيائية ـ الكيميائية، وعالم الحوادث الكمومية، وربما حتى كما سنرى في الفصل اللاحق ولادة الكون الذي نسكنه.

وههنا تكمن بالنسبة لنا رسالة هذا الكتاب الأساسية. فالزمن هو الخيط

المرشد الذي يسمح لنا اليوم بتوضيح وصفنا للكون على كل المستويات. لكن فكرة «انبثاق» للزمن اللاعكوس غامضة: فكيف يمكن من واقع غير زمني جوهرياً أن ينبثق هذا الزمن الخلّاق الذي يشكل لحمة حيواتنا؟ إنما علينا أن نحدد الزمن اللاعكوس في كل مكان وإلاَّ فلن نستطيع فهمه في أي مكان.

الفصل السابع

ولادة الزمن

أدّى اكتشاف بنزياس Penzias وويلسون Wilson منذ نحو ربع قرن لإشعاع فوتوني من نحو 3°ك إلى مواجهة الفيزياء لكبرى أزماتها بحسب تعبير ويلر[1] Wheeler. إن هذا الإشعاع الذي يغمر كوننا المرصود كله اعتبر أنه الأثر الرقيق، شبه غير الملحوظ اليوم، للحادث الهائل الذي شكلته «ولادة» هذا الكون. وهكذا أصبحت فرضية «الإنفجار الكبير Big Bang» التي عدت حتى ذلك الحين كتأمّل نظري رياضي مسألة فيزيائية.

وستشكل مسألة «البيغ بانغ» قلب هذا الفصل. وقد اخترنا أن ندخلها منذ البداية لكي نشير إلى أية درجة فرضت نفسها إمكانية حتى مناقشة «ولادة» الكون كمفاجأة على الفيزيائيين. والأزمة التي كان يتحدث عنها ويلر هي أولاً أزمة صورة الفيزياء. فبالنسبة لكثير من الفيزيائيين اليوم يبقى أمراً غير قابل للتصور أن الفيزياء يمكن أن تأخذ الكون كموضوع وتغامر هكذا بالدخول في مجال كان حكراً حتى الآن على التأمّل.

إن مصطلح «الكوزموس cosmos» نفسه ينطوي بالنسبة لليونان على أن مجمل ما يوجد لا يمكن التفكير به إلاّ كنظام وتناغم وجمال. فالكوزموس (النظام الكوني) ليس «شيئاً» يمكن لنا التعامل معه، بل مصدراً للمعنى الذي يحدد ويعطي

معنى لوجودنا. كذا فإن فكر الكون المسيحي لا ينفصل عن مشروع الخلق الإلهي. وقد سبق وذكرنا جيوردانو برونو الذي لا يمكن التفكّر بالكون بالنسبة له إلاّ على أنه غير القابل للتفكّر، اللانهاية الساكنة، اللامتبدلة، غير القابلة للفساد، والعصية على المناهج التي تسمح لنا بفهم عالم المخلوقات المنتهية. وفي نهاية القرن الثامن عشر جعل كانط Kant من التأملات حول الكون وهماً للمنطق: فلا يمكن أن يوجد تصور للكون لأن هذا الأخير لا يمكن أن يشكل مادة لأي تجربة.

فكيف لا نفهم في هذا الإطار حركة تراجع بعض الفيزيائيين بمواجهة فكرة أن الفيزياء يمكن أن تجعل من الكون موضوعاً حقيقياً للعلم؟ لا شك أن العديد من «الرؤى للعالم» الناشئة عن التعميم ابتداء من قوانين الفيزياء خالفت التحريم الكانطي. وهكذا تعارضت في القرن التاسع عشر صورة الكون «النيوتوني»، الخالد مثل المادة والقوانين التي تحكم حركتها، مع صورة الكون «الترمودينامي»، الخالد هو أيضاً إنما المتطور نحو موت حراري سيضع حداً للتاريخ كله. ورمزت فكرة العود الأبدي التي ولدت بنتيجة هذا التصادم إلى الصراع العلمي بين الديناميكا والترمودينامكا الذي وصفناه، وفي الوقت نفسه إلى الصلات القديمة بين إدراك الكون ومسألة مغزى وجودنا. ويرى أبل ري[2] Abel Rey أن العود الأبدي نجم عن مبرهنة التكرار لبوانكاريه التي ستنتهي وفقها كل منظومة ديناميكية بالمرور في حالة قريبة بقدر ما نريد من حالتها الابتدائية، وهي مبرهنة بيّنا في الفصل الخامس أنها تفقد صحتها في حالة المنظومات غير المستقرة. وبالنسبة لنيتشه Nietzsche فإن العود الأبدي هو تأكيد أكثر ممّا هو نتيجة للعلم: فهو يستتبع إرادة العيش في كل لحظة بحيث نستطيع تحمل فكرة أن هذه اللحظة ستتكرر عدداً لانهائياً من المرات في المستقبل.

كون دائم أو كون مصيره الموت: إذا كان هذان التصوران مستلهمين من العلم فإن جذورهما ترجع إلى ماض أبعد بكثير في تاريخ الفكر البشري. وبالمقابل فإن التواصل بين النظرية والمراقبة خلال السبعين سنة الأخيرة غيّر بشكل عميق الفكر الكوني بتعريضه لتحوّلات غير متوقعة. من كان ليعتقد بأننا سنستطيع أن ننسب للكون عمراً محدداً؟ ومن كان ليتصور بأننا يمكن أن نتوصل كما كنا قد أشرنا لذلك في الفصل الثالث إلى إحلال «الموت الحراري» للكون ليس في نهاية تاريخه بل في بدايته؟ إن فكرة أن النظام الذي يميز كوننا الحالي ليس نظاماً ناشئاً عن

تدهور تدريجي بل نظاماً نجم عند انفجار انتروبي أصلي، نظام يسمح لنا إشعاعه الباقي بتقدير الثمن الهائل، تعطينا معيار الطريق الذي قطع حتى الآن.

إلى أي حد يمكن لتصورات فيزيائية أوجدت بصدد العالم الذي نستطيع رصده اليوم ـ أكان الأمر يتعلق بالمجرات البعيدة أو بالأحداث الناشئة في المسرعات العملاقة ـ أن تسمح ببناء تاريخ متجانس يبلغ إلى هذا الكون القابل للرصد؟ إن «السيناريوهات» المتعلقة بولادة الكون تشكل اليوم مخبراً لتجريب تصوري يخترع فيه الفيزيائيون ويختبرون نماذج جديدة للمعقولية. وسيناريوهات الكون ليست «شرعية» بالمعنى الحقوقي، بالمعنى الذي كان بإمكان الفيزيائيين أن يثبتوا معه ضد الحكم الفلسفي أن باستطاعتهم معالجة الكون كموضوع. إنها شرعية بالمعنى العلمي لأنها تخلق حقلاً جديداً يتجاذب فيه الحوار بين النظرية والتجربة، ولأنها تتميز بالدياميكا المزدوجة التي هي ديناميكا الفيزياء المنتجة في آن واحد لمعطيات جديدة أكثر قسرية ولفرضيات أكثر تشدداً.

إذا بات «علم النظام الكوني cosmologie» يشكل جزءاً من الفيزياء فهذا لا يعني أنه لا يطرح أية مسألة تصورية. بل على العكس تماماً. ولنبدأ بالانفجار الكبير نفسه. وكما سنرى فإن الأمر يتعلق بنتيجة حتمية لـ «النموذج المعيار» المسيطر اليوم: فإذا ما عدنا بتطور الكون باتجاه الماضي بحسب هذا النموذج، فإننا سنصل إلى «خصوصية»، إلى نقطة بلا امتداد توجد فيها بشكل «متمركز» كلية طاقة ومادة الكون. وقد فرضت الخصوصية المقترنة بالبيغ بانغ نفسها بفضل نجاحات النموذج المعيار، ولكن، ويا للغرابة، فلا هذا النموذج ولا الفيزياء عموماً يسمحان لنا بوصفها: فقوانين الفيزياء لا يمكن أن تطبق على نقطة ذات كثافة لانهائية من المادة والطاقة.

بل إن «الخصوصية» المقترنة بالبيغ بانغ تعيدنا إلى مسألة أخرى: كيف نحدد الفرق بين كون «فارغ» وكوننا المادي؛ من وجهة نظر النسبية كان كون خال من المادة ممكناً تماماً بشكل قبلي: فمعادلات النسبية العامة توافق في الحقيقة وصفاً لكون تكون المادة ـ الطاقة معطاة فيه دفعة واحدة. ولهذا فإن الخصوصية البدئية هي نتيجة حتمية للنموذج المعيار: فبالعودة باتجاه الماضي، باتباع كون ينكمش بشكل منتظم، من المحتم أن نصل إلى نقطة تصبح فيها كثافة المادة ـ الطاقة لانهائية.

تطرح إذن مسألة البيغ بانغ في الحقيقة سؤال أصل هذه المادة ـ الطاقة في قلب كوننا. فلماذا كان ثمة بعض الشيء بدلاً بالأحرى من لا شيء؟ وعلى هذا السؤال، الذي قال عنه بعضهم إنه كان السؤال الفلسفي بامتياز، والهوة التي تذوب فيها كل معرفة إيجابية، فإننا سنحاول إعطاء إجابة من داخل الفيزياء، وهي إجابة مقترنة بشدة كما سنرى بمسألة الزمن.

كان أحدنا قد أشار منذ عام 1947 إلى الجدة الأساسية للفيزياء الأينشتانية التي تجعل من الفضاء والزمن ليس الإطار غير المتفاعل مع الظاهرات الفيزيائية، بل ظاهرة بذاتها، ويشير من بعد إلى أنه «في هذا البناء للزمن ابتداء من الظاهرات فإن الظاهرات اللاعكوسة ستلعب بالتأكيد دوراً أساسياً[3]». ويمكننا الاعتقاد اليوم أن اللاعكوسية تلعب في الواقع هذا الدور الأساسي وذلك ليس تحت شكل هذا «الموت الحراري» الذي سكن القرن التاسع عشر، بل على العكس كجانب أساسي من «مرور كوننا إلى الوجود».

وكما سنرى فقد اختفى مذاك مفهوم «الأصل المطلق» للكون الذي صدم فيزيائيين كثيرين من خلال تشابهه المقلق مع مفهوم الخلق اللاهوتي. فالمرور إلى الوجود الذي أصبح معقولاً فيزيائياً لم يعد من هذا المنطلق بالذات حدثاً فريداً بل سيرورة توافق شروطاً محدّدة. ومن الممكن أن يصبح أكثر قبولاً وإدراكاً أن أكواناً أخرى قد سبقت كوننا ويمكن أن تليه.

قبل أن نستكشف المسائل المختلفة التي قدمناها للتو، لنعد إلى هذه الفيزياء النسبية الحاملة لإمكانية غير قابلة للتصور حتى الآن في «تحديد» الكون وفي تشكيله كموضوع علمي. ولن ندخل في تفاصيل النسبية. ويكفي أن نذكر بأنه على عكس النظرية النيوتونية الكلاسيكية لا توضع نظرية أينشتاين المادة في قلب فضاء ـ وعاء غير متفاعل، بل تصف علاقة متبادلة بين المادة والخصائص القياسية للزمكان الذي يحتويها.

كيف نفهم «قياسية» الزمكان هذه؟ في السابق كانت فيزياء غاليليه ونيوتن تفترض قياساً. وبنية الفضاء في الفيزياء الكلاسيكية هي بنية إقليدية. وهي تسمح بتحديد المسافة بين نقطتين $S_{12}^2 = (x_2-x_1)^2+(y_2-y_1)^2+(z_2-z_1)^2$ كمسافة ثابتة بالنسبة لتغيرات منظومات الإحداثيات، وبشكل آخر بالنسبة لمراقبين في حركة مستقيمة منتظمة بالنسبة لبعضهم بعضاً. وواقع تمييز مثل هذه البنية بـ «الإقليدية»

إنما يشير إلى حقيقة أن الأمر يتعلق ببنية خاصة توافق والحالة هذه فضاء «معدوم الانحناء». ويمكن تعريف فضاءات أخرى. وهكذا فإن المساحة المغلقة على نفسها لكرة تتميز بانحناء موجب في حين أن لمساحة «سطح زائدي» مفتوح إنحناء سالب.

إن نظرية النسبية الخاصة لأينشتاين تبقى مرتبطة بقياسية مميزة بانحناء معدوم مثل قياسية الفضاء الإقليدي. ومع ذلك فإن هذه القياسية لا تشمل الفضاء فقط بل والزمن أيضاً. وتعرف النسبية الخاصة ثابتاً جديداً، «مسافة» جديدة، إنما هذه المرة ليس بين نقطتين في الفضاء، بل بين «حادثين» زمكانيين. وهكذا لن يستطيع مراقبون مختلفون يتحركون بحركة مستقيمة منتظمة بالنسبة لبعضهم بعضاً الاتفاق على المسافة بين حادثين ولا على الزمن الذي مرّ بينهما، إنما بالتحديد على «الفاصل» الزمكاني الذي يفصلهما. والثابت الجديد هو من الشكل $S_{12}^2=c^2(t_2-t_1)-(x_2-x_1)^2-(y_2-y_1)^2-(z_2-z_1)^2$. إن هذا القياس هو الذي يُحفظ عندما ننتقل من مراقب سكوني إلى آخر. وينطوي ذلك على أن كل مراقب سيرى حزمة ضوئية تنتقل في الفراغ بحيث أن الفاصل S_{12}^2 ينعدم. وبذاك سيكون لسرعة الضوء بالنسبة لكل هؤلاء المراقبين القيمة c نفسها.

وهكذا فقد أعاد أينشتاين تفسير التسارع الذي تحدده قوىٰ التفاعل الثقالية بالنسبة لهذا المتصل رباعي الأبعاد. فمن تعريف الإنحناء في منطقة من الكون يشتق تعريف حركة «جسم تجربة» في هذه المنطقة. وهكذا فإن التسارعات التي كانت الفيزياء النيوتونية تفسرها بمصطلحات التفاعل الثقالي تعبر بالتالي بالنسبة لأينشتاين عن قياسية الزمكان المنحني، تماماً كما أن الحركة العطالية تعبر عن الحالة الخاصة لزمكان «مسطح». إن الكون أو كل جسم تجربة يخضع لحركة مستقيمة ومنتظمة سيكون كوناً معدوم الإنحناء. إنه يوافق كوناً «خالياً من المادة ـ الطاقة»، «كون مينكوفسكي Minkowski». إن وجود المادة هو الذي يحدد في نظرية أينشتاين «إنحناء» الزمكان. وتصف بالتالي معادلات أينشتاين زمكاناً «يتفاعل» مع وجود المادة ومادة «حساسة» لإنحناء الزمكان. وبشكل أدق تصل المعادلة الأساسية للنسبية العامة بين أداتين رياضيتين تدعيان «التنسورات أو الموترات Tenseurs»: التنسور المتري métrique الذي يصف انحناء الزمكان في المنطقة المعتبرة من الكون، والتنسور «المحرض الطاقي» الذي يصف المحتوى المادي لهذه المنطقة بمصطلحي الكثافة والضغط السائدين فيها.

وقد لفت أينشتاين نفسه الانتباه إلى المغزى المختلف لطرفي معادلته. وقارنه بالمبنى الذي شيّد أحد جناحيه من الرخام بينما شيّد الجناح الآخر من الخشب(4). وفي الحقيقة يتحدد شكل التنسور المتري باعتبارات نظرية دقيقة جداً، في حين أن التنسور «التحريض ـ الطاقة»، الذي يمثل «منبع» انحناء الزمكان، هو نتيجة وصف ظاهراتي ولا يأخذ بشكل خاص شكلاً بسيطاً إلاّ إذا ما اقتضينا أن معادلة أينشتاين تؤول عند حدود الحقل الضعيف إلى معادلة الثقالة النيوتونية.

إن كل نموذج كوني مرتكز على معادلات النسبية يضم عدداً من الفرضيات الظاهراتية فيما يخصّ المحتوى المادي للكون. وبشكل خاص يرتكز النموذج المعياري، الذي سبق وذكرناه وارتبطت به بخاصة أسماء لوميتر Lemaîtreوفريدمان Friedmann وروبرتسون Robertson ووالكر Walker، على «المبدأ الكوني» الذي يطرح فكرة أنه على المستوى الكبير يمكن للكون أن يُحدد على أنه متجانس وموحّد الخواص. ويسمح هذا المبدأ الكوني بتعريف زمن عالمي: فكل المراقبين الذين يرصدون القيم نفسها لخصائص الكون يحيون العمر نفسه لهذا الكون.

إن التاريخ الذي أدّى إلى النموذج المعيار هو مثال درامي على تدخّل الزمن في مجال كان يبدو بالتعريف مستبعداً: إذ كيف نتفكر بالكون بخلاف أنه مشابه لنفسه أبدياً؟ ففي عام 1917، وبعد عام فقط من تشكيل النظرية النسبية، اقترح أينشتاين نموذجاً أولياً يجعل من الكون في الحقيقة كينونة سكونية، مغلقة على ذاتها، هي كرة ذات حجم منته ولا زمني، وكانت تجسيداً حقيقياً لمثال المعقولية الذي قاد حياته كلها. ومن المميز أنه للحصول على هذا الحل لمعادلاته كان أينشتاين مجبراً على إدخال حدّ إضافي في الطرف الثاني من معادلته، وقد دعي «الثابت الكوني». لكن فريدمان بيّن منذ عام 1922 أن الحل السكوني الذي إقترحه أينشتاين كان غير مستقر، وأن أقل تشويش يدمر استمراره. وبالمقابل كانت معادلات أينشتاين تقود بشكل طبيعي جداً إلى حلول تتضمن إتساعاً أو تقلصاً للكون على مرّ الزمن. إضافة إلى ذلك كانت لهذه الحلول ميزة عدم حاجتها للثابت الكوني الذي بقي تفسيره غامضاً.

وفي عام 1929 اكتشف هبل Hubble أن الضوء الصادر عن المجرات منزاح نحو الأحمر بحسب تناسب المسافة بين المجرات والأرض(5). وحمل هذا الانزياح يقين معظم الفيزيائيين: فالكون الذي نعيش فيه هو كون في طور التمدّد. وفي

الواقع يمكن تفسير اكتشاف هبل من خلال حركة ابتعاد المجرات، والذي يكون أسرع كلما كانت هذه الأخيرة أبعد، أي أن الضوء الذي نتلقاه منها كان قد صدر في مسافة أبعد في الماضي.

ومع ذلك فإن توسّع الكون الذي يصفه النموذج المعياري لا يجب أن يختلط مع «صيرورة» للكون ستخلق اختلافاً جوهرياً بين الماضي والحاضر. وتشير المعطيات التجريبية إلى أن كوننا يتمدد اليوم، لكن معادلة أينشتاين مقترنة مع المبدأ الكوني تقبل حلولاً أخرى. فبحسب كثافة الطاقة ـ المادة للكون من الممكن أن يكون التمدد الحالي غير محدود في الزمن، وبلا عودة، أو أن مرحلة تقلص ستلي مرحلة التمدّد التي نعيشها. وبالتالي فإن التطور الكوني الذي يستتبعه النموذج المعياري، مثل التطور الديناميكي الكلاسيكي، يكون عكوساً وتحديدياً بشكل جوهري.

ومع ذلك، وعلى عكس التطور الديناميكي البحت، فإن التطور الذي يصفه النموذج المعيار يتضمن أيضاً عنصراً ترموديناميكياً. فمع إزدياد نصف قطر الكون لا تنخفض فقط كثافة المادة ـ الطاقة التي تسكنه بل وتنخفض أيضاً حرارته. ورغم ذلك فإن هذا الابتراد التدريجي للكون، إذا كان يلعب كما سنرى دوراً أساسياً في التطورات المعاصرة لعلم الكون، فإنه هو أيضاً يوصف على أنه عكوس بشكل أساسي أي محدد كلياً عبر التطور الهندسي. وبشكل أدق فإن التطور الكوني المحدد بواسطة النموذج المعيار ثابت الحرارة، أي أنه يحفظ انتروبية الكون.

لنعد الآن إلى مسألة البيغ بانغ. إذا أرجعنا التوسّع الثابت الحرارة باتجاه الماضي فإننا سنصادف بنية للزمكان ذات انحناء أكبر فأكبر، ودرجة حرارة وكثافة وضغط للمادة المشكلة له أكثر فأكثر ارتفاعاً. وعند الحد الأقصى لهذه العودة ـ والقياسات الحالية لسرعة ابتعاد المجرات تسمح بتحديد هذا الحد منذ خمسة عشر مليار سنة ـ، نصل إلى الوضع المتفرد الذي سبق وذكرناه حيث تأخذ الكثافة ودرجة الحرارة والإنحناء قيمة لانهائية.

ويبدو أن العلم والأساطير يلتقون هنا في سر الأصل. ما الإنفجار الكبير؟ وهل يتعلق الأمر بحدث وحيد؟ وكيف يمكن التفكّر به في هذه الحالة عبر الفيزياء؟ إن هذه الأخيرة لا يمكن أن تبحث إلاّ صفوفاً من الظاهرات حيث تحدّد شروط إنتاجها. وبالتأكيد، كما سبق وقلنا، فإن «أية رمية نرد»، وأي سلوك هبائي فردي

يكون قابلاً لإعادة الإنتاج بحصر المعنى. ومع ذلك فبإمكاننا إعادة رمي النرد، ويمكننا إعداد منظومة ذات سلوك هبائي: وبالتالي يمكننا تحديد هذه الحركات الفردية على أنها تنتمي لصف هو موضوع للعلم. أما البيغ بانغ فلا ينتمي إلى أي صف من الأحداث، وهو يشكل تفرّداً مطلقاً.

كان بعضهم راضين بالتأكيد لرؤية «يد الله» في الخصوصية المقترنة بالبيغ بانغ، وانتصار نص الخلق التوراتي، والفعل الوحيد خارج نطاق العلم الذي يمكننا إعادة تشكيل وجوده فقط ابتداء من العالم الذي نعرفه. وقد حاول آخرون تجنّب هذه الوضعية المقلقة. وكانت إحدى المحاولات الأكثر تميزاً في هذا النطاق النموذج الكوني «حالة الكون المستقر Steady State Universe» لبوندي Bondi وغولد Gold وهويل Hoyle[6].

ويتضمن نموذج «الكون المستقر» المبدأ الكوني «الكامل». ففي كون النموذج المعيار ينظر جميع المراقبين المعاصرين الكون نفسه. وفي نموذج الكون المستقر، لا ينعدم فقط وجود مكان متميز، بل وليس ثمة فيه زمن متميز. وسينسب كل راصد، في الماضي وفي الحاضر، درجات الحرارة وكثافة المادة نفسها للكون. فليس ثمة عمر للكون. وفي الحقيقة يصف نموذج «الكون المستقر» تمدداً أسياً للكون «يقترن بخلق دائم للمادة». ويسمح التزامن بين التمدّد والخلق بالحفاظ على كثافة ثابتة للمادة ـ الطاقة في الكون. فالأمر يتعلق إذن بكون خالد لا عمر له بل هو في حالة خلق مستمر.

وثمة نتيجة لنموذج «الكون المستقر» قلما أشير إليها: فممّا لا شك فيه أن هذا النموذج يقصي أكثر نتائج النموذج المعيار تميزاً، وهي إمكانية تحديد «عمر» للكون. لكن ضمّ حدّ موافق لخلق المادة للطرف الثاني لمعادلة أينشتاين يستتبع من جهة أخرى أن التطور الكوني لم يعد انحفاظياً بالمعنى الترموديناميكي. إن علاقة التضمن المتبادل بين الخلق والتمدُّد تحدّد سهماً للزمن، ولاعكوسية أصلية هي لاعكوسية خلق المادة، أي الانتروبي أيضاً.

لم يكن لكون أينشتاين عمر أو سهم زمني، في حين أن لكون النموذج المعيار عمراً إنما دون أن يكون له سهم زمني، أما الكون المستقر فله سهم زمني لكن ليس له عمر. أما النموذج الذي نقترحه من جانبنا فهو نموذج كون له في الوقت نفسه عمر وسهم زمني. لكننا لن نستعجل الأمور. ولنعد بالأحرى إلى الاكتشاف

التجريبي الذي فرض على معظم الفيزيائيين القناعة بأن الكون لا يتمدد فقط، بل وأن له أيضاً عمراً وأصلاً.

فقد جعل اكتشاف الإشعاع المتبقي عام 1965، كما سبق وأشرنا، الذي تصل درجة حرارته إلى 2.7°ك، على يد بانزياس Penzias وويلسون Wilson، من فرضية البيغ بانغ - ومعها من مفهوم النموذج الكوني نفسه - ليس فقط فضولاً رياضياً بل ومسألة فيزيائية حقيقية(7). وكان قد جرى التنبؤ بهذا الإشعاع نظرياً على أساس فكرة البيغ بانغ على يد غاموف Gamow وألفر Alpher وهرمان Herman منذ عام 1948. وقد قال هؤلاء إنه إذا كان الكون في ماضيه أكثر كثافة وحرارة بكثير ممّا هو عليه اليوم، وإذا كان تاريخ تمدّده هو في الوقت نفسه تاريخ إبتراده التدريجي، فقد كان في الأصل «معتماً» حيث كانت طاقة الفوتونات عالية بما يكفي لتتفاعل هذه الأخيرة مع المادة. وعند درجة الحرارة 3000°ك انكسر التوازن بين المادة والضوء وأصبح كوننا شفافاً، ولم يعد للفوتونات عندها تاريخ آخر سوى تاريخ إبترادها والتوسّع وطول الموجة. وقد حسب غاموف وألفر وهرمان طول الموجة الذي يجب أن يكون لهذه الفوتونات اليوم والذي أثبته قياس الإشعاع «المتحجر» 2.1°ك.

لقد حسم إكتشاف بنزياس وويلسون انتصار النموذج المعيار والتخلي عن نموذج هويل المنافس. والإشعاع المتبقي لا يرجعنا بالتأكيد إلى التفرّد البدئي، بل إلى 300 000 سنة بعده، إلى «نهاية» البيغ بانغ التي يميزها الانفصال بين المادة والضوء. لكنه يستتبع مع ذلك بالنسبة لمعظم الأخصائيين أن للكون بحق أصلاً وعمراً.

إن النموذج المعيار يشكل خلفية الدراسات الفلكية الفيزيائية الحالية المتعلقة بتشكّل وبتطور المجرات والنجوم. ويُقبل عادة أن النظريات الفيزيائية الحالية تسمح بفهم ما كان عليه كوننا بعد ثانية من وجوده. أما ما كان عليه الكون خلال الثانية الأولى من وجوده فيشكل حقل استكشاف تصوري بالنسبة لفيزياء الطاقات العالية. ولم يعد الفيزيائيون يأملون اليوم بالمضي نحو اللامتناهي في الصغر بل نحو اللامتناهي في السخونة - أي نحو حركات كانت حركات المادة في اللحظات الأولى من عمر الكون - باكتشاف المبادىء التي ستسمح بتوحيد التعددية الهائلة للجسيمات الأولية. إن الجسيمات التي تتمدّى (تتحوّل إلى مادة) أثناء الأحداث الهائلة الطاقة التي يمكن لمسرعاتنا إنتاجها كانت موجودة كما يُعتقد عندما لم يكن

عمر الكون يتجاوز جزءاً من مليار جزء من الثانية. لكن النظريات الحديثة حول توحيد الأنماط الثلاثة للتفاعلات ـ الضعيفة والكهرمغنطيسية والقوية ـ ترجعنا إلى كون «عجوز» عمره نحو 10^{-34} ثانية. ولرصد الجسيمات التي كانت موجودة في ذلك الوقت إنما نحتاج لمسرعات دائرية قطرها بطول قطر مجرّتنا[8]...

ورغم ذلك فإن النموذج المعيار يصادف هو أيضاً صعوبات. ومن أجل حلّها إنما اقتُرِحَت حديثاً «تحسينات» لهذا النموذج مثل النموذج «التضخمي»[9]. ويعالج هذا النموذج ما يشكل فعلياً «ولادة ثانية» للكون، وذلك بعد نحو 10^{-36} ثانية بعد البيغ بانغ بحصر المعنى. ويتعلق الأمر بمرحلة فائقة التبدّد، مشابهة جداً لانتقال من حال إلى حال، كالانتقال مثلاً من التبلر الفجائي لسائل إلى درجة حرارة أدنى من درجة حرارة تبلوره. وفي هذه الحالة ـ إنما دون أن ندخل في التفاصيل ـ فإن هذا الانتقال سيميز إنكسار التناظر بين التفاعلات القوية من جهة والضعيفة والكهرمغنطيسية من جهة أخرى. وتكون هذه المرحلة قد ترافقت بتمدّد هائل (بمعامل من رتبة 10^{50} على فاصل زمني من رتبة 10^{-32} ثانية...) تلاه تسخين فجائي.

لن نقف طويلاً عند النموذج التضخمي الذي يطرح بدوره مسائل شائكة. وهكذا فإنه يقود إلى إعادة إدخال حد إضافي في معادلات أينشتاين، ألاّ وهو «الثابت الكوني» الفخم[10]. وبقدر ما يبدو أن الأرصاد الحالية تستبعد وجود مثل هذا الثابت، يجب أن نقبل أن هذا الأخير قد اختفى دون أن يكون أي سبب قد طرح حتى الآن لتبرير هذا الاختفاء. لكن النموذج التضخمي لا يقدم بشكل خاص حلاً للأسئلة التي طرحناها في بداية هذا الفصل. وهو لا يمس مسألة التفرّد البدئي ويكتفي بوصف «حادث» نجم عن تأخر الكون في التأقلم مع ابتراده الخاص. وهذا الحادث فائق التبدّد بالتأكيد، لكنه يُقطّع تاريخاً كونياً يظل مُدركاً على أنه ثابت الحرارة بشكل أساسي. وكما سنرى فإن النموذج الذي سندخله يستتبع هو أيضاً طوراً تضخمياً مبدِّداً، لكنه يتجنب البيغ بانغ ويربط بشكل جوهري بين اللاعكوسية وخلق الكون.

سنوقف هذا الوصف هنا، وهو وصف مبسّط جداً لعلم الكون المعاصر، لنعد إلى المقاربة الجديدة التي نقترحها.

وكما سبق وأشرنا فإن الصعوبة الكبرى في النموذج المعيار هي صفته

المحافظة على الحرارة، والعكوسة بجوهرها. وكانت فرضية تطور محافظ على الحرارة طبيعية طالما أن النماذج الكونية كانت خاضعة لهيمنة الهندسة. لكنها لم تعد كذلك في الإطار الحالي. وكما رأينا في الفصل الثالث من هذا الكتاب فإن الكون الناجم عن البيغ بانغ، حيث يوجد نحو 10^8 فوتون لكل جسيم مادي، يحرض بشكل لا يقاوم حادثاً فائق الانتروبية منتجاً في آن واحد لـ «نظام» الجسيمات المادية وللتبدّد الفوتوني. وتكمن انتروبية الكون بشكل أساسي في هذه الفوتونات. وقد أظهرت الحسابات الحديثة أنه فيما لو تخلّى مجمل الكون «المادي» عن ماديته على شكل فوتونات فإن ذلك لن يغير من إنتروبية الكون إلاّ بنسبة 0,01٪. فكيف نفهم هذه الكمية الهائلة من الانتروبيا؟ يبدو من التعارض أن نصف تطور كوننا الغني بالانتروبيا بعبارات تطور محافظ على الحرارة ومحافظ على الانتروبيا. فلا بدّ أنه في لحظة معطاة لعبت آلية منتجة للانتروبيا دوراً أساسياً.

لكن لنطرح على أنفسنا أولاً السؤال: هل كان يمكن لنشوء لكوننا المادي أن يكون منسجماً مع القوانين الفيزيائية؟ ألم يكن يجب أن يتعلق الأمر بخلق من عدم، هو بالتعريف خارج هذه القوانين؟ إنما ههنا يجب أن نذكر بمفهوم منتشر كثيراً اليوم، وهو يجعل من نشوء الكون «وجبة سريعة»، وحادثاً مجانياً.

وكانت هذه الفرضية التي اقترحت عام 1973[11] على يد ترّيون Tryon تستعيد فكرة قديمة لجوردان Jordan. ويقص غاموف في سيرته الذاتية[12] ذهول أينشتاين عندما أطلعه على ملاحظة جوردان: أنه بإمكاننا القبول بأن الطاقة الكلية للكون معدومة. وفي الواقع توجد الطاقة في الكون بشكلين: الطاقة المرتبطة بالجاذبية وهي قوة جذب، والطاقة المرتبطة بالكتلة من خلال صيغة أينشتاين $E=mc^2$. والحال أن الطاقة المرتبطة بالثقالة في المحصلة تظهر مع إشارة سالبة، في حين أن للطاقة المرتبطة بالكتلة إشارة موجبة. ومن وجهة النظر هذه يمكننا إذن التأكيد أنه لا يوجد ثمة اختلاف في الطاقة بين كوننا وكون خال، كون مينكوفسكي الذي سبق وأشرنا إليه: فالمحصلة الطاقية المعدومة يمكن أن تنتج من جمع صفرين (كون فارغ) تماماً كما من كميتين متساويتين وبإشارتين مختلفتين (كون مادي). وبعبارة أخرى، ومن وجهة نظر الطاقة، لن يكون ثمة بالتالي ثمن لدفعه للانتقال من اللاوجود إلى الوجود.

ويخلص تريون إلى أن الكون يمكن ألا يكون سوى تعبير آخر للعدم ويمكنه

بالتالي أن ينبثق تلقائياً من هذا العدم: وهكذا فإن خلقه من عدم لا يطرح في الواقع أي تعارض من وجهة النظر الطاقية. وستكون ولادة الكون بالتالي مشابهة كتموج طوعي للفراغ.

وتذكر فكرة الكون كاضطراب للفراغ بشكل غريب بفكرة بولتزمان التي ذكرناها في الفصل الأول من هذا الكتاب: الكون كاضطراب بالنسبة للتوازن الترموديناميكي. ومع ذلك فإن هذه الفكرة تصطدم بالمسألة نفسها: لماذا لا نرصد مثل هذه التموجات بل كوناً يوجد منذ خمسة عشر مليار سنة؟ ههنا نعود لمسألة اللاعكوسية. ولنفكر بدوامات بينار الرائعة: فهي من وجهة نظر الطاقة توافق أيضاً «وجبة سريعة». لكن إنحفاظ الطاقة لا يكفي لتفسير إنتقالها للوجود. فالانتروبيا وليست الطاقة هي التي تسمح بتقدير الثمن الذي يدفع من أجل وجودها.

وهكذا فإن مسألة أصل الكون تتبدّى من منظور جديد. فاللاعكوسية ليست خاصية مضافة أو مقحمة، مميزة لتباعد بين التطور الحقيقي للكون ومثال تطور محافظ على الحرارة، كما هو الحال في النموذج التضخمي. بل تكون اللاعكوسية عندها تعبيراً أساسياً عن ولادة الكون. وستكون الانتروبيا وليست الطاقة هي التي ستقيم الفرق بين الكون الزمكاني البحت، الفارغ، كون مينكوفسكي، وكوننا المادي. كانت الرؤى التقليدية لكون منذور للموت الحراري تصطدم بصعوبات أساسية: فكيف نفهم الحالة الإبتدائية، عالية التنظيم، وبالتالي غير المحتملة مسبقاً، والتي يعبر التاريخ اللاعكوس للكون عن اختفائها التدريجي؟ إن فكرة الخلق اللاعكوس للمادة تجيب على هذه المسألة: فالكون الهندسي البحت، الزمكاني، يوافق حالة متجانسة يعبر عنها الخلق الانتروبي للمادة. ويتوضح «الموت الحراري» في البداية، في اللحظة التي إنشرخت فيها البنية الزمكانية للكون الفارغ وحيث ظهرت المادة ممزقة «النسيج الزمكاني» الأملس وظهرت معها الانتروبيا.

إن حادثاً كهذا كان يجب أن يتوافق مع لاإستقرارية للفضاء الخالي الأصلي. وكما سنرى يوجد اليوم سيناريو يُحل محل فرضية التفرّد البدئي آلية خالقة في آن واحد للجسيمات الثقيلة ولإنحناء الزمكان. ومع ذلك نشير قبل أن نصف هذا السيناريو إلى النتائج العامة لمثل هذا الخلق للمادة.

يستتبع هذا الخلق تغييراً لمعادلات أينشتاين الكونية (أنظر أيضاً الملحق III). وفي الواقع فإن هذه المعادلات التي تشكل قاعدة النموذج المعيار تصف تطوراً

محافظاً على الحرارة وعكوساً: فأي دفق من الحرارة قادم من «الخارج» لا يغير انتروبية الكون $(d_eS=0)$ وهذا الأخير ليس مقر أية سيرورة منتجة للانتروبيا $(d_iS=0)$. أما فيما يتعلق بانحفاظ الطاقة، أي بأول مبدأ في الترموديناميك، فإن صيغتها المعتادة هي $dE+ pdV =dQ$ حيث E هي الطاقة الداخلية و p الضغط و V الحجم و Q الحرارة المتلقاة. وفي حالة إنحفاظ الحرارة $(dQ=0)$ تأخذ هذه المعادلة الشكل $dE+ pdV =0$. إن الخلق الإتفاقي للمادة يجبرنا على إعادة صياغة مبدأي الترموديناميكا. فمن جهة علينا أن نضيف للمعادلة $dE+ pdV =0$ حداً لمصدر الطاقة الداخلية يعبر عن هذا الخلق ويكون بالتالي متناسباً مع dN، تغير عدد الجسيمات. ومن جهة أخرى يجب أن يتم اختيار هذا الحد بحيث يوافق المبدأ الثاني مذاك إنتاجاً للانتروبيا موجباً أو معدوماً، يرجع لخلق المادة: $d_iS =sdN$ حيث s هي الانتروبيا لكل جسيم مخلوق. وينعكس هذا التغيير على معادلة أينشتاين ويترجم ذلك بظهور ضغط إضافي (أنظر الملحق III). وعندما ينعدم إنتاج المادة dN، وبالتالي إنتاج الانتروبيا، نجد من جديد المعادلات المعتادة[13].

وكان علم الكون بحسب أينشتاين قد كامل الزمكان والمادة، لكنه لم يأخذ من المادة سوى تعريفها النيوتوني، بمصطلحات الكتل والتفاعلات. ولهذا كان سهم الزمن مجهولاً في هذا العلم. وفي المنظور الذي نقدمه هنا يتعلق الأمر بمقاربة تصح فقط عندما يكون نشوء الكون قد أنجز، أي بعد فترة يسمح السيناريو الذي سنقدمه الآن بتقدير لها.

فلنأت الآن إذن إلى هذه المرحلة الإبتدائية التي شهدت «تمزق» النسيج المتجانس للزمكان، إلى تلك «اللحظات الأولى» للكون التي يندمج فيها بشكل لا يقبل الفصل الهندسة والتمدّد واللاعكوسية.

إن لمحاولة التوحيد في الفيزياء جوانب عديدة. وقد أشرنا لتونا إلى الصلة بين الهندسة والتبدّد، لكن أصل الكون يطرح أيضاً مسألة توحيد التفاعلات. وفي الحقيقة، وبمعزل عن خصوصية البيغ بانغ بحصر المعنى، فإن الكون الأولي يعيدنا إلى «الحقب الكمومي» والذي استدعى بالنسبة له كوهن ـ تنوجي Cohen - Tannoudji وسبيرو Spiro[14] ضرورة «تكميم ثالث» يكامل فيزياء الجسيمات، التي يلعب فيها الثابتان c و h دوراً أساسياً، والنسبية العامة التي، إضافة إلى c، تقتضي ثابتاً آخر هو ثابت الإقتران التثاقلي G.

ويقودنا ذلك إلى إدخال واحدات طبيعية للطول والزمن والحرارة، يعبر عنها فقط بمساعدة الثوابت الكونية الثلاثة c و G و h. وهي تدعى بواحدات بلانك. وهكذا فإن طول بلانك، $(G\hbar/c^3)^{1/2}$، يوافق تقريباً 10^{-33} سم. أما زمن بلانك المبني بطريقة مماثلة فهو من الرتبة 10^{-44} ثانية، ودرجة حرارة بلانك من الرتبة 10^{32} درجة.

ونلاحظ أن السلم الذي تحدّده هذه الواحدات يرجعنا إلى ما كان عليه الكون في الجوار المباشر للخصوصية المقترنة بالبيغ بانغ. ووصف كون نصف قطره من الرتبة 10^{-33} سنتيمتر يجب أن يتضمن الميكانيك الكمومي والنسبية معاً. ولهذا طالما لم يمتلك الفيزيائيون نظريات موحدة قادرة على مكاملة الثوابت الكونية الثلاثة، أي العالم الكمومي والعالم التثاقلي، فإن النماذج التي تحاول تمثيل اللحظات الأولى من الكون ستبقى ظاهراتية فقط.

ومع ذلك فإن سلم بلانك يسمح لنا منذ الآن باستنتاج غريب فيما يخص «الأشياء» التي سكنت الكون قبل الحدّ الكاشف الذي يحدّده هذا السلم. وفي الحقيقة يمكننا أيضاً تعريف كتلة بعبارات الثوابت الكونية الثلاثة. والحال أن «كتلة بلانك» هذه، ويا للعجب، كبيرة بالنسبة للكتلة النموذجية لجسيم أولي. وهي من رتبة 10^{-5} غرام، في حين أن كتلة بروتون مثلاً هي من رتبة 10^{-23} غرام. وهكذا فإن كتلة بلانك توافق كتلة عدد كبير من البروتونات (10^{18} بروتون). فكيف نتصور جسيماً أولياً بهذه الضخامة؟ إن أسباباً كثيرة تقود للاعتقاد بأن الأمر يتعلق بثقب أسود دقيق.

وعندما نفكر بثقب أسود[15] فإننا نتصور عموماً موضوعاً فيزيائياً فلكياً عظيم الكثافة. إنها تلك الأشياء التي يحاول الفلكيون إكتشافها في قلب المجرات بشكل خاص اعتماداً على التخلخلات التي يجب أن تحرضها على وسطها. ومع ذلك فإن كل جسم ثقيل، أكان نجماً أو جسيماً أولياً، يمكن أن يتصف بالقياس نفسه الذي يسمح بتعريف ثقب أسود، أي «بنصف قطر شفارزشايلد Schwarzschild» الخاص به. ونصف قطر شفارزشايلد لجسم يحدّد الكرة التي إذا كانت كل كتلة الجسم المدروس متمركزة فيها فإنها تحدّد إنحناء للزمكان بحيث أن الضوء نفسه لن يستطيع الإفلات منه. وعادة يكون نصف قطر شفارزشايلد أصغر بكثير من نصف قطر الجسم الثقيل. وهكذا فإن نصف قطر شفارزشايلد للشمس يساوي كيلومتراً

واحداً ويساوي بالنسبة للأرض سنتيمتراً واحداً. وعندما يكون أكبر تكون أمام ثقب أسود. وعندها فإن نصف قطر شفارزشايلد يحدّد «منطقة الأسر» لثقب أسود. حتى الفوتون إذا كان داخل هذه المنطقة فإن الثقب الأسود سيأسره. وإذا كان لجسيم أولي كتلة بلانك فسيكون له نصف قطر شفارزشايلد الذي سيكون بالتحديد مساوياً لنصف قطر كومبتون Compton الخاص به، أي للتعريف الذي يعطيه الميكانيك الكمومي لحجمه (يساوي النصف قطر هذا $\lambda = h/mc$ حيث m كتلة الجسيم». تحدّد كتلة بلانك إذن العتبة التي تكون الجسيمات الأولية ابتداء منها ثقوباً سوداً دقيقة.

فكيف نتصور ثقباً أسود دقيقاً؟ دون أن ندخل في التفاصيل نشير إلى أن إدراكنا للثقوب السوداء تجدّد إثر أعمال هوكينغ Howking وبكنستين Bekenstein بشكل خاص[16]. فقد بيّنا أنه من المستحيل من وجهة النظر الكمومية حبس الثقوب السوداء بشكل نهائي للمادة ـ الطاقة. وتقود علاقات الارتياب الكمومية إلى التنبؤ بـ «أثر نفقي» عبر الحاجز التثاقلي، وهي الإمكانية التي تفلت عبرها الجسيمات والفوتونات من الثقب الأسود. وبذاك يكون هذا الأخير قد أصبح موضوعاً ترموديناميكياً يتميز بالطيف الطاقي لإشعاعه، أي بدرجة حرارة وبانتروبيا. وقد بيّن هوكينغ أن درجة حرارة الإشعاع كانت أكثر ارتفاعاً والانتروبيا أكثر انخفاضاً كلما كانت كتلة الثقب الأسود أصغر. ويكون الثقب الأسود «الصغير» قابلاً لإصدار جسيمات ثقيلة في حين أن ثقباً أسود من كتلة الشمس يصدر بشكل أساسي جسيمات بلا كتلة. وبشكل متلازم فإن زمن حياة ثقب أسود يزداد مع كتلته (بشكل أدق مع مكعب كتلته). وثقب أسود «شمسي» يعيش 10^{66} سنة في حين أن ثقباً أسود له كتلة بلانك سيختفي بعد زمن من رتبة زمن بلانك.

إن تصور «ثقب أسود دقيق» يتميز بأبعاد بلانك يعطينا إشارة هامة: فمخلوقات الكون الأولي ستكون مبدّدة بشكل أساسي، ومتميزة بانتروبيا عظيمة الارتفاع. والحال هذه، وبحسب السيناريو الذي سنصفه الآن بطريقة مبسطة، وحدها «جسيمات» لها نحو خمسين مرة ضعف كتلة بلانك، أي أنها ثقوب سوداء دقيقة، إستطاعت خرق نسيج الزمكان الموافق للفراغ.

وينطلق هذا السيناريو، الذي اقترحه في الأصل بروت Brout وإنغلرت Englert وغونزيغ Gunzig[17] ثم عمقه غونزيغ ونردون Nardone[18]، من دراسة

كون مينكوفسكي، أي من كون خال إنحناؤه معدوم. لكن «الفـراغ» معرف هنـا من وجهة نظر الميكانيك الكمومي. فالفراغ الكمومي هـو عكس العدم: فبعيـداً عن أن يكون مطاوعاً أو ساكناً فإنه يتضمن بشكل كامن كل الجسيمات الممكنة. ولا تنفـك هذه الجسيمات تنبثق من الفـراغ لتختفي من جديـد. وفي الحقيقة فـإن «تموجـات الفـراغ الكمـوميـة» ليست خـاضعـة لانحفـاظ الـطاقـة، لكن تحيينهـا، أي تحـول الجسيمات الكامنة إلى جسيمات حقيقة يقتضي طاقة مكافئة لكتلة هذه الجسيمات. ولهذا فإننا لا نلحظ في كوننا الفاتـر سوى تمـدي الجسيمات الأخف: فـالفوتـونات ذات الطاقة العالية، كفوتونات الأشعة الكونية، يمكن أن «تحـرض» خلق أزواج من الإلكتـرونات والبـوزيترونـات. وفي المسرعـات يمكن أن تتمـدى جسيمـات أثقـل بكثير.

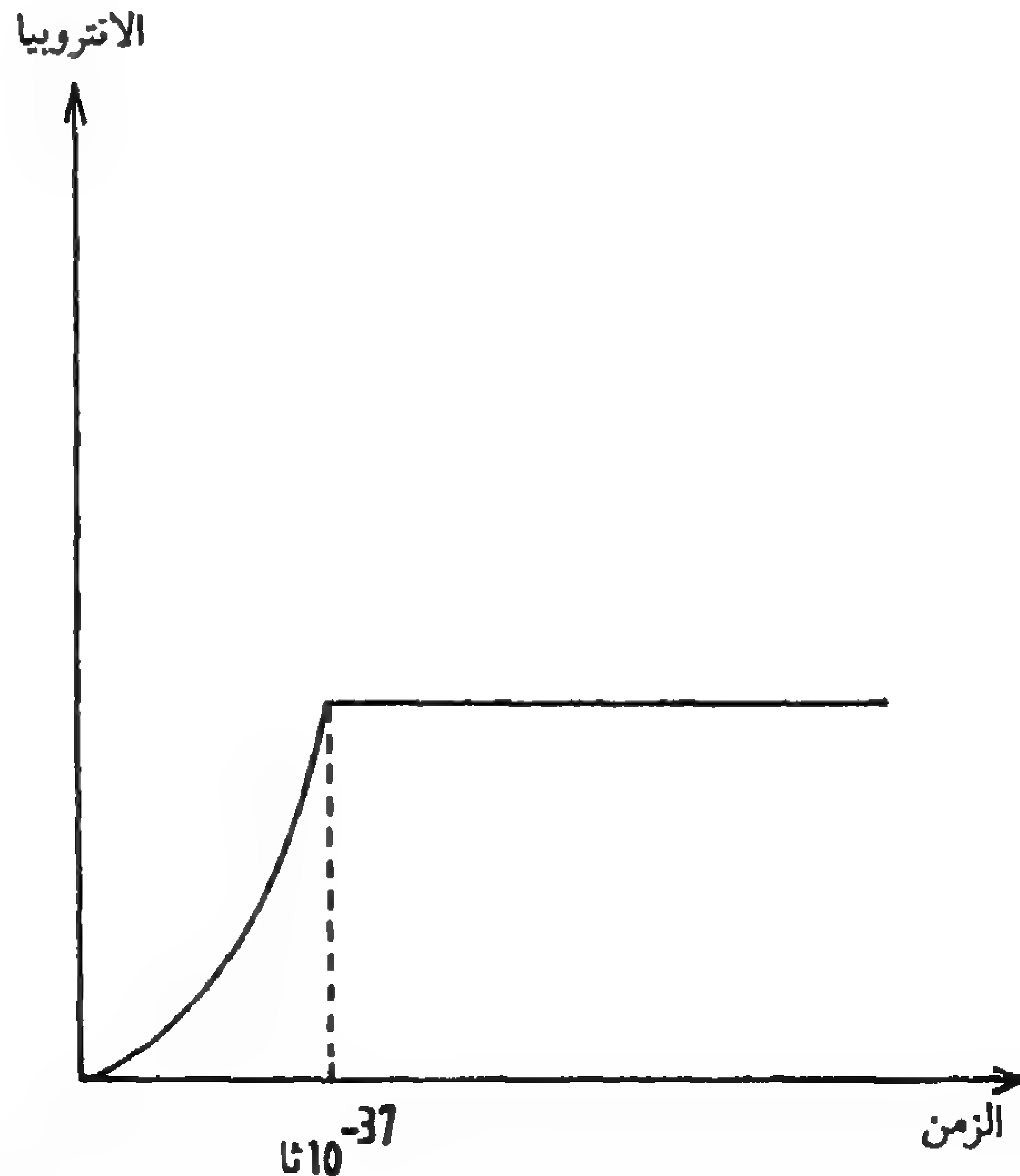
ومن الغريب أن تموجـات الخلاء الكمـومي يمكن أن تؤدي إلى لاإستقراريـة كـون مينكوفسكي (الخـالي). فإذا ظهـر جسيم كامن كتلتـه تفوق عتبـة معينة (نحـو خمسين مرة ضعف كتلة بلانك) فإنه يطلق آلية تساندية فائقة اللاخطية. وتعطي هذه الآلية لنظرية «الوجبة السريعة» معناهـا الفيزيـائي. فهي تستخلص من خزان الـطاقة السلبية التي تشكلها البنية الهندسيـة للزمكان المـوصوف بمعـادلات أينشتاين الطاقـة المـوجبة الضـرورية لتمـدية الجسيمـات الكمونيـة. وينتج عن هـذا التحوّل للطاقـة السالبة للحقل الثقالي إلى طاقة موجبة للمادة إنحناء للزمكان يؤدي بدوره إلى تمدية جسيمات أخرى، وهكذا. ويولد الكون الذي نعرفـه كذا من اتسـاع تموّج «ممـزق» لزمكان مينكوفسكي ومن إنتاج لاعكوس للجسيمات الثقيلة ومن انحناء الزمكان.

ويذكرنا هذا الوصف بوصف تبلور سائل فائق الذوبان، سائل في درجة حرارة أدنى من درجة حرارة تبلوره. وفي مثل هذا السائل تتكـون بذور صغيـرة للبلورات، لكن هذه البذور تظهر ثم تنحل دون أن تؤدي إلى نتائج. ولكي تطلق بذرة السيرورة التي ستقـود مجمل السـائل إلى التبلور يجب أن يكـون لها حجم حـرج يتعلق، في هذه الحالة أيضاً، بآلية تساندية فائقة اللاخطية هي سيرورة «التنوي nucléation».

ويبين النموذج أنه طالما استمر إنتاج الجسيمات فإن الكـون يشهد تـوسعاً من نمط أسّي ثـابت الكثافـة (بالتعبيـر التقني يتعلق الأمر بمـرحلة تضخمية هي مـرحلة «دوسيترية»). ومثل هذا التوسّع يحل المسائل التي من أجلها إنما كان قـد تمّ تصوّر النموذج التضخمي الذي سبق وأشرنا إليـه، لكن دون أن يرفـع الصعوبـات نفسها.

وهو لا يقتضي بشكل خاص إدخال الثابت الكوني. إن إنتاج الجسيمات والتضخم ينتهيان مع «تحلل» الجسيمات الثقيلة المتولدة. والحال أنه على هذه الجسيمات، كما رأينا، أن تكون ثقوباً سوداء صغيرة ذات زمن حياة من نحو 10^{-37} ثانية. وتلكم يجب أن تكون «فترة» ولادة كوننا، أي الفترة التي أنتجت خلالها كل انتروبيا الكون تقريباً، مقاسة بانتروبيا الثقوب السوداء الوليدة. ومع تبخر الثقوب السوداء يبدأ التطور من النمط المحافظ على الحرارة الذي يضعه النموذج المعيار. (أنظر الشكل 20).

وهكذا فإن ولادة الكون توافق لاإستقرارية تجعلنا نمر من الكون الخالي إلى كون يتمدد أسّياً (كون دوسيتر de Sitter) وتعمره ثقوب سوداء دقيقة. وعند موت الثقوب السوداء التي تولد المادة والإشعاع يتحول التوسّع الأسّي إلى توسّع محافظ على الحرارة، هو توسّع النموذج المعيار الذي يستمر حتى اليوم.



الشكل 20 ـ تطور انتروبية الكون على مرّ الزمن: فكون مينكوفسكي «الخالي» يتوافق (ثقالياً) مع قيمة معدومة للانتروبيا. والإقلاع بالنسبة للصفر يوافق اللاإستقرارية.
تلي ذلك مرحلة توسّع ونمو أسّي للانتروبيا، وتليها مرحلة ثابتة الحرارة (ذات انتروبيا ثابتة) يصفها النموذج المعيار.

وضمن هـذا المنظور لم يعـد ثمة خصـوصية بـدئية، ولا إنفجـار كبيـر (بيـغ بـانغ)، بـل لاإستقراريـة خلاقـة للمادة. وقـد وصفنا آليـة ممكنة تعـطي مثـل هـذه اللاإستقرارية لكن النتيجة العـامة، التي نفصِّلهـا أكثر في الملحق III، هي أن كـل آلية لاإستقرارية مبدِّدة خلاقة للمادة تستبعد البيغ بانـغ. فالبيـغ بانـغ مستقر بنيـوياً. وتلكم نتيجة جوهرية.

إن اللاإستقرارية البنيوية ظاهرة عامة جداً. وقد صادفنـاها في الفصـل الرابـع فيما يخصّ التغيير الجذري الذي يفرضه إدخال أقل حـد من الاحتكاك على حـركة النواس المثالي. وبالمثل فإن تاريخ الكون هنا يتعدل بشكل جذري عبر إدخال خلق مبدِّد للمادة مهما كان بسيطاً.

وسنعود إلى هذه المسائل في الملحق III. ولننشـر هنا إلى أن شـروط المرور من الكون المتوسع أسّياً إلى الكون ذي التوسّع المحافظ على الحرارة يسمح ببعض التنبؤات المتفقة مع وصف الكون الحالي[19]. إن حساب انتروبيـا الثقوب السـوداء المتخلقة خلال الـ 10^{-37} ثانية من المرور إلى وجود كـوننا يسمـح، ابتداء من قيمـة الثوابت الكونية الثلاثة، بتقدير صحيح للمعـطيات التي تميـز البنية التـرموديـنـاميكية لكوننا الحالي: الإنتروبيا (المقاسة بعدد الفوتونات في الكون) وبخاصة العـلاقة بين عدد الجسيمات الثقيلة وعدد الفوتونات التي تشكل هذا الكون.

كيف نفهم الصفـة اللاعكـوسة لـولادة المادة انـطلاقـاً من الـزمكـان؟ ولمـاذا يستبعد سيناريو معاكس حيث تهجع الجسيمات في حين ينعدم انحناء الزمكان؟ في السيناريو الذي قدمناه لتوِّنا يترافق خلق الكـون بحالـة طاقيـة أساسيـة قيمتها صفـر. فخلق الكون المادي يعطي إذن قيمة سالبة لهـذه الحالـة الموافقـة لانحناء الـزمكان الذي ينتج بشكل متلازم. والوضع مشابه بدرجة غريبة لوضع الذرة المحرَّضـة الذي حللناه في الفصل السابق. ويمكننا مقارنة كون مينكوفسكي الخالي بحالة «محرضة» للكون. فكما أن الذرة المحرضة ترجع إلى وضعها الأساسي بإصدار فوتـون كذلـك يرجع الكون الخالي إلى الحالة الزمكانيـة ذات الطاقـة الأخفض بـ «إشعاع» المـادة وبالإنحناء. ويستتبع هذا التحوّل الطاقي وحيد الإتجاه، الـذي لا يمكن أن ينتج إلاّ من الطاقة التثاقلية باتجاه طاقة المادة، وليس بالعكس، كوناً في طور التمدّد.

كان حلم أينشتاين أن يتصور هندسة قادرة على توحيد القوانين الفيـزيائيـة وأن

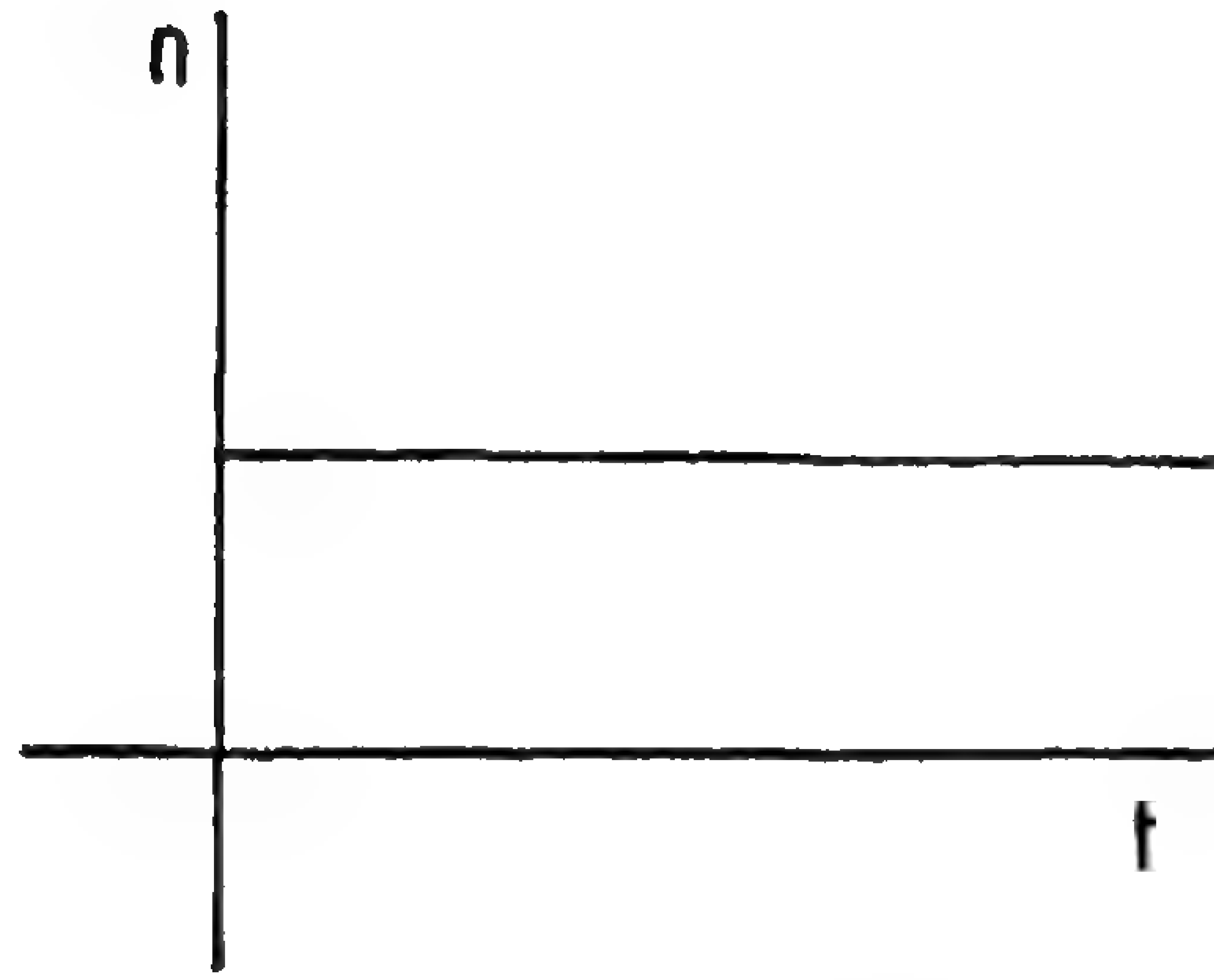
يرجع مجموع السيرورات الفيزيائية ـ الكيميائية إلى هذه الحقيقة الهندسية الجوهرية. وقد سمح لنا أينشتاين بالتفكّر بالوحدة اللامنفصمة للزمكان وللمادة. ومع ذلك فإن هذه الوحدة لا تعني التكافؤ. وضمن المنظور الذي نطرحه هنا فإن خلق المادة، المعرفة كحاملة للانتروبيا، ليس أكثر اختزالاً إلى ظاهرة عكوسة من الذرة الكمومية في قابليتها للاختزال إلى الميكانيك. إن نمطاً جديداً من التجانس يظهر، وهو يقدم شبهاً معيناً مع «الكون المستقر»، وذلك من حيث أن التمدّد وخلق المادة يظهران فيه على أنهما لا ينفصمان، إنما الذي يميز فترة التمدّد اللاعكوسة لخلق الكون وفترة التمدّد بلا خلق الموافقة للمعادلات الكونية من نمط فريدمان ـ لوميتر Friedmann - Lemaître.

لقد عنونا هذا الفصل بـ «ولادة الزمن». وتلكم بالتأكيد طريقة في التعبير. إن ما وصفنا ولادته هو زمن كوننا. ونحن نعرف أن لكوننا «زمناً» و «عمراً»، ولكن هل بإمكاننا مماثلة هذا الزمن بـ «الزمن»، هذه الولادة بـ «ولادة للزمن»؟ ليس الأمر بممكن أبداً. فتصورنا لـ «الفراغ الكمومي الأصلي» ينطوي هو نفسه على زمن لاعكوس بطيء، هو الزمن الذي تستلزمه تموجات هذا الفراغ. والوضع مماثل للوضع الذي صادفناه فيما يخصّ حالات التوازن. وكما رأينا، فإن شروط اللاتوازن لا تخلق سهم الزمن، بل تسمح لسهم الزمن هذا، الماثل دائماً في ديناميكا الصلات ما بعد التصادمية، بالظهور على المستوى العياني. وبالمثل فإن سهم زمن كوننا لم يخلق بل حيِّن من خلال التموّج الذي يطلق ولادة هذا الكون. إنما الزمن يسبق الوجود.

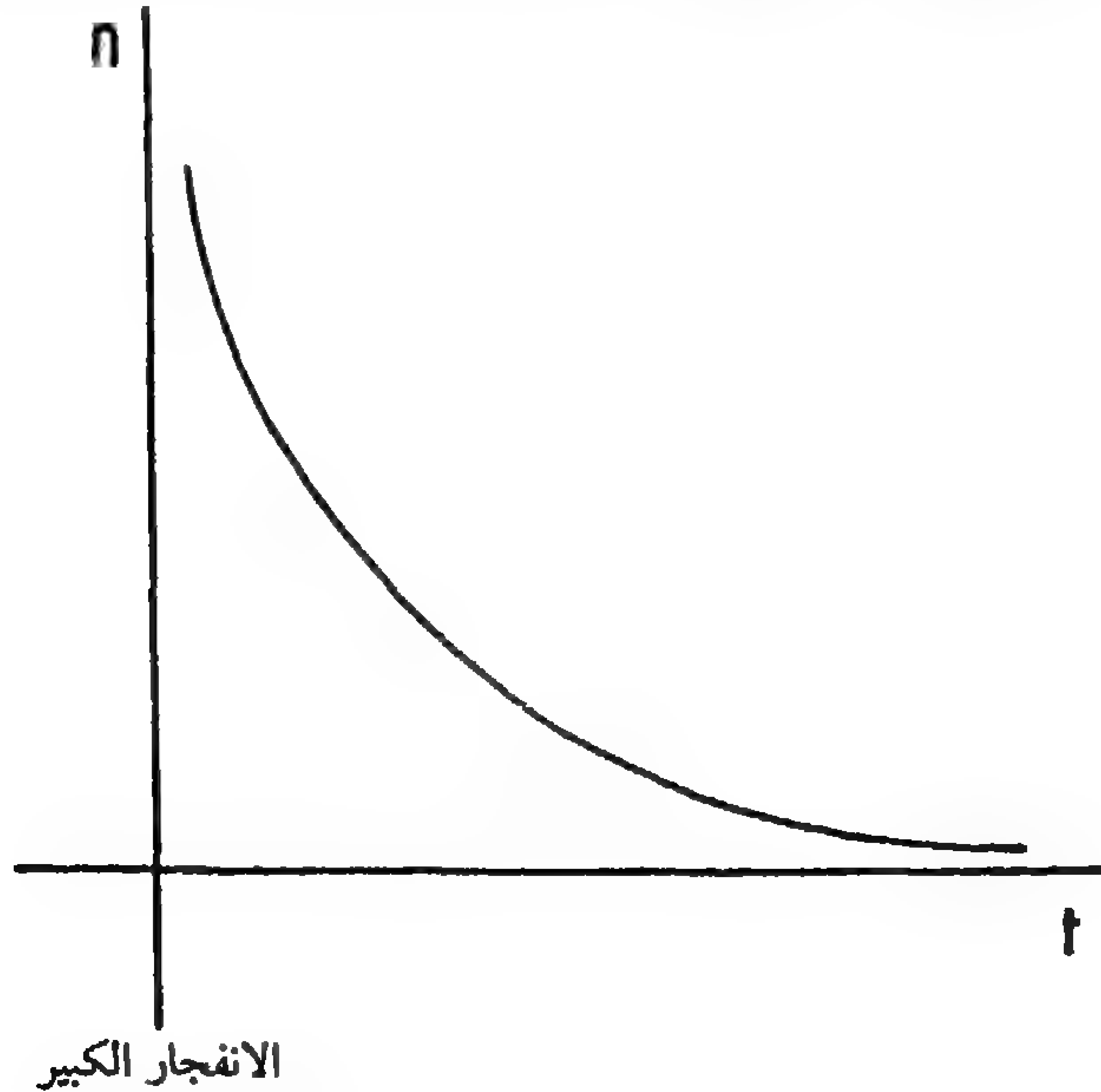
كان التعبير الأكثر إدهاشاً للتناظر الأساسي للنموذج المعيار الإمكانية التي يفتحها لعود أبدي، لمتتالية أبدية من مراحل التمدّد والتقلص، وهو صياغة أخرى لمثال الخلود السكوني الذي كان مثال أينشتاين. وقد استبعدت هذه الإمكانية طالما أن التوسّع دون خلق للمادة هو فقط العكوس وليس التوسّع الذي يميز المرحلة البدئية، مرحلة خلق كوننا. ومع ذلك، وكما كنا قد لاحظنا منذ الفصل الثاني، فإن العود الأبدي لا يعني بالضرورة العكوسية. فالفصول تعود، لكن من غير المعقول أن الشتاء يلي الربيع ثم يليه الخريف. وربما كان بإمكاننا أن نرى ارتسام نموذج كوني لهذا العود الأبدي اللاعكوس جوهرياً: وفي الحقيقة، بقدر ما تستجيب ولادة الكون لنموذج فيزيائي فإن الأمر لا يتعلق بعدها بحادث وحيد، بل بحادث قابل للتكرار إذا تكررت شروط إمكانيته.

لنعد إلى مسألة التطور الكوني من وجهة نظر كثافة المادة ـ الطاقة n بالنسبة للزمن.

في نموذج الكون المستقر تكون n ثابتة مع مرور الزمن، حيث يوازن توسّع الكون خلق المادة (أنظر شكل 21). فليس ثمة إذن في هذه الحالة لحظة ابتدائية. إنها سيادة الأبدية كما يريد ذلك المبدأ الكوني المثالي.



الشكل 21 ـ تطور زمني لكثافة المادة ـ الطاقة في «الحالة المستقرة للكون». (أصل الزمن إتفاقي).



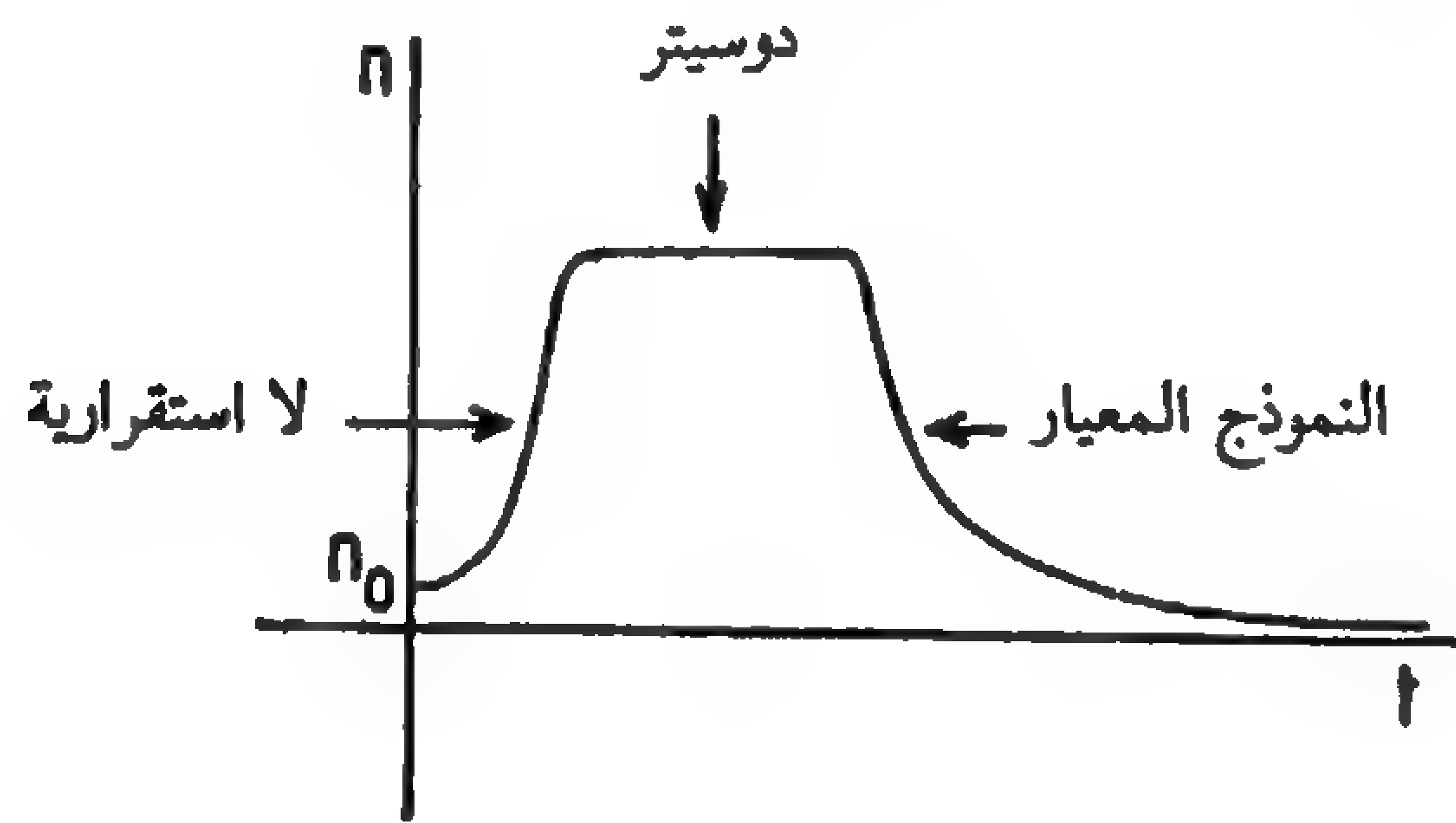
الشكل 22 ـ التطور الزمني لكثافة المادة ـ الطاقة في النموذج المعيار.

وفي النموذج المعيار ليس ثمة خلق للمادة وبالتالي فإن الكثافة تقل مع توسّع الكون (شكل 22).

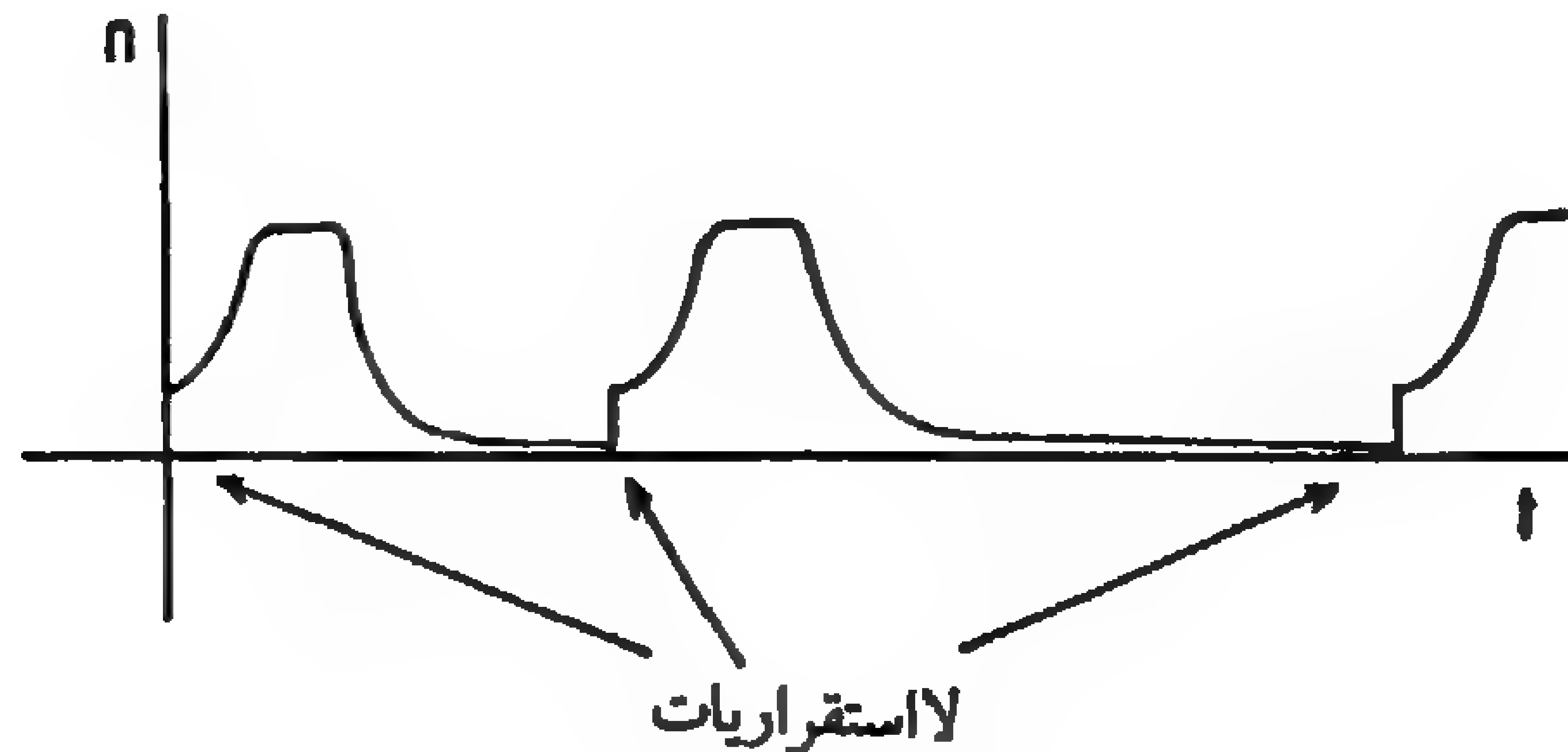
وعندما يكون ثمة لاإستقرارية تزداد الكثافة في البداية وتبلغ حداً أقصى (يوافق كون دوسيتر حيث يتوازن الخلق والتمدّد) ثم تتناقص كما في النموذج المعيار (شكل 23).

ومع ذلك، وكما نرى، فإن تناقص كثافة المادة يمكن أن يرمم الفراغ غير الساكن. فمن الممكن إذن أن تنشأ في المستقبل البعيد لاإستقرارية جديدة خلّاقة لكون ما. وفي هذه الحالة سيكون بإمكاننا أن نعزو لأبدية الكون معنى جديداً، إنه معنى تتالي الانفجارات الانتروبية المتلاحقة عبر الزمن (شكل 24).

إنما الكون هو كرة مركزها قائم في كل مكان ومحيطها غير موجود في أي مكان: فهل يمكن لهذا التصور التقليدي للانهاية أن يتوسع ليشمل الزمن؟ فيا له



الشكل 23 ـ التطور الزمني لكثافة المادة ـ الطاقة في كون يبدأ بلاإستقرارية. القيمة المعزوة للإضطراب البدئي n_0، وللواحدات، هي قيم إتفاقية.



الشكل 24 ـ أبدية تتالي لاإستقراريات خلاقة للكون؟

من رمز مثالي لنهاية الالتباس بين اللاعكوسية والتبدّد والانحلال! إننا لنجد هنا سهم الزمن مقترناً باللاإستقرارية وبالاحتمالية، وهو لا يعني من بعد التطور باتجاه الموت الحراري، باتجاه نهاية كل تاريخ، بل إمكانية عودة للبدء أبدية. كذا يصبح الكون خلقاً مستمراً، وتتالياً مستمراً من الأكوان المولودة في كل مكان والمتجهة نحو اللانهاية.

وكما سبق وقلنا في بداية هذا الفصل، إن علم الكون هو منذ الآن فصاعداً مخبر للتجريب التصوري. ومن الغريب أنه من هذا المختبر ينبعث اليوم بناء فكري يسمح، بعيداً عن معارضة العالم السماوي والعالم الأرضي، الكون الأبدي التطابق مع نفسه وعالم الأحياء المتغير، بتأمّل تجانسهما. وتعبر هذه القربى عن الطريقة التي يمكننا من الآن فصاعداً أن نقرب بها تكاثر الأزمنة المتعددة المقترنة بخلق أشكال وجود جديدة.

إننا لا نستطيع التفكّر بولادة مطلقة للزمن. إنما يمكننا التحدّث عن زمن ولادتنا، وعن زمن تأسيس روما، أو عن زمن ظهور الثدييات، وحتى عن زمن ولادة الكون. لكن مسألة معرفة «متى بدأ الزمن» تفلت أكثر من أي وقت مضى من الفيزياء، كما تفلت دون شك من إمكانيات لغتنا وتصورنا. إننا لا نستطيع التأمّل بأصل الزمن، إنما فقط بـ«الإنفجارات الانتروبية» التي تستلزمه والتي تولد أزمنة جديدة منتجة لوجودات جديدة متميزة بأزمنة جديدة بنوعيتها. إن الزمن «المطلق»، الذي يسبق كل وجود وكل فكر، يضعنا إذن في هذا الموقف الغامض الذي يسكن التقليد الفلسفي، بين الزمن والأبدية.

الفصل الثامن

بين الزمن والأبدية

«من العالم المغلق إلى الكون اللانهائي»[1]: بهذه العبارة عبر ألكسندر كويريه Alexandre Koyré عن الإنقلاب الفكري والثقافي حيث تندرج ولادة الفيزياء الحديثة. إن فقدان الوضع المميّز للأرض، التي أصبحت مجرد نيزك مهمل في قلب الفضاء اللامتناهي، يقرّ بانهيار اليقينيات الثابتة التي كان الكون الأرسطي يربط اعتماداً عليها المعرفة الفكرية والنظام السياسي والمثال الأخلاقي. ما الذي نعرفه؟ وعلى أية ركائز نؤسّس الاختلاف بين الخير والشر؟ وعلى أية مبادىء نقيم نظاماً اجتماعياً صحيحاً؟ لقد اكتشف ملايين القراء بفضل إمبرتو إيكو كم أن هذه الأسئلة التي لا تزال مطروحة علينا اليوم تربطنا بالعصور الوسطى التي شهدت انحلال النظام الكوني القديم.

ومع ذلك، ما أعظم التضاد الذي نلحظه بين هذا القلق ويقينيات الفيزياء الحديثة، بين لايقينيات البشر ومجتمعاتهم والشفافية المعقولة للقوانين التي يفترض أنها تحكم العالم الفيزيائي!

إن الحقيقة غريبة عن زمن الصيرورة. وللتوصل إلى تأمّلها إنما على النفس، سجينة الجسد والحواس والظواهر، أن تتحرر من الصلات التي تقيدها. وعلى رجل العلم أن يتخلى عن اهتمامه بعالم خادع ومتغير لكي يبلغ إلى المعرفة الفكرية

الحقيقية. إننا نستطيع أن نجد هذه الطروحات الأفلاطونية بشكل جلي في نصوص أينشتاين، بل إنها مدونة أيضاً في قلب الفيزياء، في التعارض المعلن تقليدياً بين القوانين «الجوهرية»، التي تصف الأبدية الموضوعية للعالم، والبيانات والشروحات «الظاهراتية»، اللاعكوسة والاحتمالية، التي تكون متعلقة بالحدود التطبيقية للمعرفة البشرية. إنه لقدر غريب: فالعلم الذي كان يجب أن يرمز إلى الإنقطاع مع الأحكام والقيمة والمعاني القديمة، وإلى الإستكشاف المفتوح والتجريبي لعالم الظاهرات، يعود ليجد شكلاً من الأفلاطونية أكثر جذرية من ذاك الذي كان كويريه قد حلّ رموزه. فهذه «الأفلاطونية» لا تحد بمحاكمة العالم الظاهراتي تبعاً لمثال رياضي، وبمعارضة المعرفة الفكرية والمعرفة الحسّية؛ إنها تضفي على الجزء الأعظم من قوانين الفيزياء الحالة الدنيا للمعرفة «الحسّيّة».

ويمكننا اليوم أن نفهم بشكل أفضل أسباب هذا الوضع. كان وصف كويريه يترك في الظل الحدود الجوهرية التي تميز التصور الكلاسيكي للكون اللانهائي. إن الكون الكلاسيكي، اللانهائي بأبعاده المكانية، ليس أقل إنغلاقاً، بالمعنى الذي تكون فيه الصيرورة والتجدّد مستبعدين منه، وبالمعنى الذي يكون كل تطور وفقه مؤدّياً فيه إلى نموذج الحركات الدورية. ذلك أن مفهوم المسار الديناميكي نفسه إنما هو رسول هذا النموذج بشكل ضمني. وقد رأينا ذلك في الفصل الخامس: فكل منظومة ديناميكية قابلة للمكاملة يمكن أن تمثل بمصطلحات الحركات المستقلة عن بعضها بعضاً.

لقد خلّدت الفيزياء الكلاسيكية إذن، في علم يتميز كل يوم أكثر فأكثر بقلق التاريخ، مثال هذا الخلود، هذه الحركة المستقرة والمتكررة التي كانت بالنسبة لليونان تسند إلى العالم السماوي صفة إلهية.

كيف لا نستذكر تردّد أفلاطون نفسه عندما ذكر، في «السفسطائي Le Sophiste»، الصلات بين الكائن والصيرورة؛ يلخص «الغريب» بسخرية الإشكالية الأفلاطونية التي نجدها اليوم في قلب الفيزياء: تقولون إنه بواسطة الجسم وعبر تدخل الإدراك نتصل مع الصيرورة، في حين أنه عبر تدخل المنطق وبواسطة النفس إنما نتصل مع حقيقة الوجود، وجود تقولون أيضاً إنه يؤلف دائماً وبشكل عادي الصلات نفسها، والصيرورة التي تسلك من جهتها حيناً بهذا الشكل وحيناً بشكل آخر[2]». ومن أجل أن يقود محاوره ثيطيته Théétète عن الدرب التي ستقودهما

إلى اقتران «جريمة القتل»، وإلى خرق تحريم برمنيدس Parménide وإلى إعطاء معنى لـ «اللاكائن»، ختم الغريب أنه على «غرار الأطفال الصغار» علينا أن نتعرف على واقع الكائن الساكن وعلى حقيقة الصيرورة في آن واحد.

أن نريد، مثل الأطفال الصغار، الكائن الساكن، المطابق أبدياً لنفسه، والصيرورة في آن واحد، لربما كان هذا التحدي الذي طرحه الغريب هو الذي كان منذ اليونان قد سيّر فكرنا وقاده إلى أكثر التأملات حذقاً وإلى أكثر التشييدات غرابة؟ وحيث التفتنا سنجد التوتر نفسه بين الكائن والصيرورة، بين الأبدية والزمن، أكان في الإشكالية اللاهوتية للخطيئة والسلام، وفي البحث الديكارتي عن أفكار واضحة ومميزة، وفي الرفض الذي لم ينفك يتكرر منذ كانط لإعادة الحكم الأخلاقي للترجمة البسيطة للقيم التي خلقها تاريخ البشر.

أولم يجد هذا التوتر نفسه تعبيره الرمزي الأكثر تأثيراً مع أينشتاين؟ فكم من الأخلاقيين تأمّلوا منذ عام 1945 هذا التعارض المبسط إنما البليغ: فأينشتاين، الفيزيائي المتصوف الذي أكّد أن السؤال الحقيقي الهام الوحيد بالنسبة له كان معرفة فيما إذا كان لدى الله، لحظة خلق العالم، خيار؛ كانت أبحاثه مسؤولة عن الإنعطاف اللاعكوس للتاريخ الإنساني عبر هيروشيما... فكيف نكامل هذين الجانبين للفيزياء، موضوعها الغريب عن كل تاريخ ودورها التاريخي؟ ولكن كيف نفهم أيضاً أن العلم يستطيع، على طريقة معرفة صوفية، التوصل إلى نفي حقيقة ما كان يبتغي فهمه؟ وكما كتب كارل بوبر فيما يخصّ التفسير الإحتمالي للاعكوسية: «أعتقد أن فكرة بولتزمان تَبعث النشوة بجمالها وجسارتها. لكنني أعتقد أيضاً أنها مزعزعة تماماً، على الأقل بالنسبة لإنسان واقعي. فهي تجعل من التغير وحيد الإتجاه وهماً. وهذا يجعل من كارثة هيروشيما وهماً. وهكذا فإن عالمنا يصبح عالماً وهمياً، ومعه أيضاً كل محاولاتنا لتعلم شيء ما أكثر عنه[3]».

وقد أشرنا إلى ذلك منذ الفصول الأولى من هذا البحث: فالفيزياء لا تنتمي بطريقة حكائية بل جوهرية لتقليد الفكر «الأفلاطوني» هذا، الممتد بين الزمن والأبدية. لقد استطاع بعضهم أن يحاول تقليص كل علم إلى مجرد بحث عن علاقات عامة تسمح بالتنبؤ وبضبط الظاهرات. لكن هذا التصور الراشد والفارغ من العقلانية لم يستطع أبداً إسكات اليقين حيث يتجذر توق الفيزيائيين؛ فبحثهم يهدف لفهم العالم، وإلى جعل صيرورة الطبيعة معقولة، وليس مجرد وصف الطريقة التي

تتصرف وفقها «حيناً بشكل وحيناً بشكل آخر». ومع ذلك، وقد أشرنا إليه أيضاً، فإن هذا البحث عن المعقولية لا يعني أن الفيزياء منذورة لتبقى سجينة الشكل الأفلاطوني الذي أعلنه «الغريب»، بأنها محكومة باللاتجانس الجذري الذي أشار إليه بوبر: بناء عالم من اللامعقولية يجعل ليس فقط الحياة البشرية وهمية، وهي المميزة بالزمن وبالتاريخ، بل وأيضاً الظاهرات التي نبني إنطلاقاً منها هذه المعقولية.

وفي الوقت الذي نختتم فيه هذا البحث، نشعر أننا قريبون جداً من هؤلاء الأطفال الأفلاطونيين الذين يجمعون في آن واحد معقولية الكائن والحقيقة المحصورة للصيرورة. لكننا نعرف أيضاً أن ضمّ الكائن والصيرورة ليس إحدى هذه المسائل القابلة لتلقي حلّ يفرض على أنه صحيح لمرة واحدة وإلى الأبد. إنها مسألة ملحة تفتح البحث على مسائل جديدة، وتجعل من حاجة ومخيلة الفيزيائي أكثر رهافة، ومن الطرق التي يسلكها طرقاً مفاجئة وغير متوقعة. إن ما وصفناه على مدى هذا الكتاب ليس «الحل» الذي وُجد أخيراً للغز الأفلاطوني، القادر على التوفيق بين الكائن المطابق أبداً لنفسه الذي تصوره برمنيدس، والصيرورة التي وحدها كما يذكر الغريب قبل بوبر بكثير تسمح بإعطاء معنى للحياة وللذكاء الذي يتعلم. لكن ذلك ليس من قبيل الخرافة أبداً، كما كان يقول أفلاطون عندما كان عليه أن يقترح حلاً دون أن يستطيع بناء الطريق الذي يقود إلى برهانه. بل على العكس، إنه لطريق وصفناه: اختراع صلات متجانسة جديدة بين القوانين اللازمنية التي ارتكزت عليها حتى الآن بعض إنجازات الفيزياء الأكثر تميزاً، وعالم السيرورات والأحداث التي بدونها يتجرد نشاطنا العملي وحياتنا من المعنى.

يشار غالباً بطريقة متحيزة جداً إلى قدرة العلوم على الإبتكار. ومع ذلك فإنها لا تبدع دون أن تعيد في الوقت نفسه خلق معنى ماضيها، ودون أن تعيد تفسير تقليدها. وفي الحقيقة فإن تقليد علم ما هو الذي يؤسّس مسيرة هذا العلم ويوجه أسئلته ويسند أهميتها لخياراته ولمسائله. بل إن هذا التقليد يشكل حداً أقل مما يشكل قيداً يحرض ويخصب الحاضر. فالعمل العلمي لا يستطيع أن يخلق انقطاعاً يهدم الطريق الذي جعله ممكناً، ولهذا فهو يلتفت إلى الماضي الذي يرثه وإلى المستقبل الذي يقترحه في آن واحد. ومن أجل ذلك لم يكن من الممكن أن تطرح مسألة «تصحر» فيزياء الأبدية، بل الإجابة على التحدّي الذي يشكله نجاحها.

كيف نفهم التجانس الجديد الذي يرتسم اليوم؟ لربما كان بإمكاننا أن نستذكر

هنا مماثلة مع الثورة الكبلرية. كان اليونان يعتبرون أنه من المسلم به أن كمال الدائرة وحده كان يمكن أن يهب معناه لكمال الحركات السماوية. وبالتالي كانوا يحاكمون الحركات التي يبصرونها تبعاً للمثال الدائري. ومذاك، من بطليموس حتى كوبرنيكوس Copernic، نذر علم الفلك نفسه لـ «إنقاذ الظاهرات»، ولبناء المسارات المعقدة من الدوائر والدوائر المحيطية المركز épicycles بطريقة خاصة، الأمر الذي كان يسمح بموافقة المثال وعملية الرصد. لكن الفيزياء كانت خاضعة منذ غاليليه وحتى اليوم لمثال كمال أيضاً، وهو الذي كرّسه لايبنيز باسم «مبدأ السبب الكافي». وعلى غرار الدائرة اليونانية شكلت المساواة العكوسة بين السبب والنتيجة قيداً شبه مستور، وخيطاً مرشداً يقود من الفيزياء الغاليلية إلى الميكانيك الكمومي والنسبية، كما تقودنا الدائرة من بطليموس إلى كوبرنيكوس. لقد جدّد كبلر مثال معقولية علم الفلك: فقد تجرأ على «كسر الدائرة» وعلى خلق رياضيات تسمح بفهم الظاهرات التي كان علم الفلك التقليدي يحد نفسه بعملية إنقاذها. إن كسر دائرة السبب الكافي، وخلق لغة رياضية تجعل الأحداث والسيرورات اللاعكوسة معقولة والتي كانت الفيزياء التقليدية تقتصر على «إنقاذها» بواسطة مقاربات ظاهرية، ذلكم في النهاية التحدي الذي قاد اهتمام بريغوجين، أحد مؤلفي هذا الكتاب، بمسألة الزمن إليه.

لقد تكررت على مدى هذا الكتاب بعض المصطلحات كلازمة وبخاصة مصطلحي اللاإستقرارية والحادث. وفي الواقع فإن هذين المصطلحين يبتكران وسيلة الإفلات من دائرة السبب الكافي.

كان مثال السبب الكافي يفترض إمكانية تحديد «السبب» و«النتيجة» اللذين كان يمكن لقانون تطور أن يقيم بينهما تكافؤاً عكوساً. وكما رأينا فإن اللاإستقرارية تجعل هذا المثال غير مشروع. لكنها تفتح كذلك حقلاً جديداً للأسئلة حيث يلعب الحادث دوراً مركزياً. وفي كل من المجالات التي استكشفناها وجدنا مفهوم الحادث هذا بأشكال مختلفة. وكذا هو الأمر بالنسبة للاضطراب المحرض لتحول نوعي لنظام عمل المنظومات البعيدة عن التوازن، وللظهور الافتراضي للجزيئات الكبيرة القادرة على المشاركة بنمط جديد للتاريخ سيكون نمط الحياة، وللتصادم الخلّاق للصلات، وللانتقال الطوعي الذي يقود ذرة من حالة محرضة باتجاه حالتها الأساسية، وأخيراً لولادة كوننا نفسها. وفي كل مرة يخلق الحادث اختلافاً بين

الماضي والمستقبل اللذين كان السبب الكافي يعرفهما على أنهما متكافئين. إنه النتيجة المعقولة لماض لم يكن ليمكن مع ذلك أن يُستنبط منه. وهو ينفتح على مستقبل تاريخي حيث سيتقرر معنى أو تفاهة نتائجه. ترتسم بالتالي حول مفهومي اللاإستقرارية والحادث إمكانية تجاوز التعارض بين المادة الخاضعة لتصنيفات السبب الكافي والموضوع الذي يجب بالتعريف أن يفلت منهما.

لقد أشار مفكرون كثر، مثل برغسون، إلى ضرورة الإفلات من هذا التعارض، لكن الأغلبية اعتقدت أن ذلك سيستلزم نمطاً آخر من العلم، بل ومن المعرفة. والحال أن تجدد مسألة الموضوع الفيزيائي لم تتم من خلال طرح الفيزياء للمناقشة، بل في قلب التقليد الفيزيائي ـ الرياضي نفسه.

إن الدور الذي لعبه مبدأ السبب الكافي حتى الآن في الفيزياء واضح جداً إذا ما عدنا بالنظر إلى الوراء. وكان هذا المبدأ يبدو أنه يصون استقلالية الموضوع بالنسبة للذي يراقبه: فالتساوي بين السبب والنتيجة يعني أن التعريف لم يترك شيئاً يُفلت يمكن أن يكون ملائماً لسلوك الموضوع وهو لا يدين بالتالي بشيء لاختيار اتفاقي. وبشكل متلازم، إنما على استقلالية الموضوع بالنسبة للذات أسس فيزيائيون كثر في أثر أينشتاين مفهوم «الحقيقة الفيزيائية». وكانت مثل هذه الحقيقة تتعارض بالتأكيد مع حقيقة التجربة المعاشة، بمفهوم برغسون والظاهراتيين. وكانت تتعارض أيضاً مع الحقيقة التي نعزوها للبشر الآخرين، والتي لا تتبع لاستقلالهم بالنسبة لنا، بل للصلات التي نستطيع إقامتها معهم.

نعود هنا للموضوع الذي كان مطروحاً في النقاش بين أينشتاين وطاغور (الفصل الثاني من هذا الكتاب). هل نحن بعيدون جداً عن موقف أينشتاين؟ يبدو أن الإجابة المباشرة يجب أن تكون إيجابية وذلك بقدر ما كان هذا الأخير قد طابق غالباً الحقيقة والتحديدية. لكن لزوم الاستقلالية بالنسبة للمراقِب له معانٍ متعددة. إن مبدأ السبب الكافي يستتبع أن كل ابتعاد عن التحديدية يترجم تعريفاً غير كامل للموضوع، أي تعريفاً مفتوحاً على الإتفاقية. ولأن أينشتاين كان ينتسب إلى هذا التقليد إنما دافع ضد أي شكل من اللاتحديدية في الفيزياء. لكن مفهومي اللاإستقرارية والحادث لا يديننان بشيء كما سبق ورأينا للإتفاقية. فهما لا يعبران عن التخلي عن مبدأ السبب الكافي، بل عن اكتشاف وضعيات لا يكون فيها هذا

الأخير مشروعاً، حيث أنه يدخل في صراع مع مفهوم المعرفة نفسه الذي يعد أنه يعرف مثاله.

كان كانط Kant في مقدمته لـ «نقد العقل البحت» ينقض وهم المثالية الأفلاطونية. فكما أن الحمامة إذ تشعر بالمقاومة التي يعترض بها الهواء طيرانها تستطيع أن تتخيل أنها ستطير بشكل أفضل في الخلاء، كذلك اعتقد أفلاطون، بمغادرته العالم المحسوس والحواجز التي يعترض بها هذا العالم الإدراك، بإمكانية المجازفة على أجنحة الفكر في فراغ الإدراك البحت. وبطريقة مشابهة إلى حد ما نقض ڤيتغنشتين Wittgenstein في «البحوث الفلسفية» الوهم الذي بُني عليه بحثه tractatus: وهم صلة مشتركة بين الجوهر النطقي للغة والنظام السابق للعالم. إن الفرضية التي تستجيب اللغة وفقها للنقاء البلوري للمنطق تضعنا على سطح جليدي «حيث لا يوجد احتكاك وحيث تكون الشروط بالتالي، بمعنى من المعاني، مثالية، إنما حيث نكون أيضاً غير قادرين على المشي لهذا السبب بالذات. فإذا كنا نريد المشي فنحن بحاجة أيضاً للإحتكاك. ألا فلنعد إلى الأرض الخشنة![4]».

ما هو منزع معرفتنا؟ وما هي القيود التي تُعلِّم حقول إختباراتنا؟ كان مثال المعرفة الكاملة يجعل من هذه الأسئلة، التي تفتح مفهوم الموضوعية على أسئلة طاغور، علامة عدم كمالنا. والحال أن هذه الأسئلة هي التي تسمح لنا بالتعلم وباستكشاف التنوعات الأصلية «للعالم» المميِّز نوعياً الذي هو عالمنا. إن القيد الذي تخضع له الديناميكا ذات التناظر المكسور التي أدخلناها في الفصلين الخامس والسادس ـ الصفة المنتهية لكل تعريف ـ يقودنا باتجاه الأرض «الخشنة» حيث يمكننا المشي، أي المراقبة والتعلُّم، الأرض التي يمكننا الاستناد عليها لبناء وصف يعطي معنى جوهرياً لما كان يبدو كعائق.

إن حدود مصداقية مبدأ السبب الكافي التي يعبر عنها بشكل خاص مفهوما اللااستقرارية والحادث هي حدود موضوعية بمفهوم أينشتاين: فهي مستقلة عن المراقِب، إنما متعلقة فقط بالشروط التي تعرف «كل» مراقبة. فالتخلي عن المثال التحديدي لا يقود إذن إلى إهمال أية معلومة قابلة مبدئياً لتصبح بمتناولنا حتى وإن كان عبر تجربة ذهنية. وبالمقابل، وكما كنا قد رأينا في حالة الديناميكا الكلاسيكية، فقد حجب هذا المثال المسألة الجوهرية التي تطرحها اللااستقرارية الديناميكية، لقد خلقت لغة الديناميكا الكلاسيكية، بإرجاع الفيزيائي إلى معرفة لا

يمكن أبداً أن تصبح معرفته، وهم التشابه بين المنظومات الديناميكية التي نعرف من بعد أنها متميزة نوعياً عن بعضها.

وبهذا المعنى ربما لا يكون موقفنا بعيداً جداً عن موقف أينشتاين. وكان هذا الأخير يخشىٰ قبل كل شيء أخطار موقف وحيد التصورية ومعرفة لا تلتقي الحقيقة بل تخضعها للمعتقدات والرغبات وحاجات البشر. وقد أصبح من الواضح اليوم أن المثال الذي كان يقوده كان يشكل بذاته مثل هذا الإعتقاد، ساتراً جوانب أساسية من الحقيقة التي نحاول فهمها.

كان الاستكشاف الذي وصفناه خلال هذا الكتاب مليئاً بالمفاجآت، وموزوناً باكتشاف إمكانيات غير متوقعة. وقد قادنا إلى عبور مجمل مجالات الفيزياء التي كان قد هيمن عليها نفي سهم الزمن. وما كان الأمر ليكون على غير هذا النحو: ففي كل من المجالات التي اقتربنا منها كان هذا النفي لا ينفصل عن تصنيفات الموضوع الفيزيائي، وعن البنية التصورية ممّا يعطي المعنى لمسيرة الفيزيائي وللأسئلة التي يطرحها وللتفسير الذي يعطيه للإجابات التي يحصل عليها. وفي كل مجال كان يجب العثور على عيب، على صعوبة تخفيها النظرية، والتي يمكن ابتداء منها بناء وصف أكثر عمومية يجعل من هذه النظرية حالة محدودة، ويسمح بفهم نفي الزمن الذي كانت قد استطاعت حسابه على أنه متعلق بهذه الوضعية المحدودة.

وقد بدأ استكشافنا مع عالم السيرورات الفيزيائية ـ الكيميائية، هذا العالم الذي لا يوافقه بحسب المحاكمة التقليدية للفيزيائيين أي تصنيف موضوعي، بل فقط نمط وصف محدد بحدود وسائلنا التجريبية.

وفي الواقع كان ترموديناميك التوازن قد استطاع أن يبدو موافقاً لصورة علم تطبيقي فقط، محدد بحاجاتنا للاختبار وللتنبؤ. وبالتالي كانت حالة التوازن مفضلة بشكل طبيعي بقدر ما كانت توافق الحالة التي يكفي فيها وصف بمصطلحات ذات قيم وسطية لتمييزها بكاملها. لكن علم السيرورات البعيدة عن التوازن ينفتح من جهته على مسائل عالم في صيرورة، عالم تفرض معقوليته تصور صلات جديدة للسببية. إن إمكانية وصف حالة التوازن على أنها خاضعة لإختباراتنا، بعيداً عن تحديدها كممثلة لحالات كبرية، تعيدنا من بعد إلى خصوصيتها: إنها الحالة الوحيدة التي نستطيع وصفها بمصطلحات مركبات صغرية بشكل أساسي مستقلة

عن بعضها بعضاً. ومذاك يكون الموضوع العام لفيزياء السيرورات المبدّدة هو سلوك تجمعات الجسيمات المرتبطة، والقابلة لتوليد تحركات جماعية متجانسة ولتحقيق تغيرات نوعية تعطي معنى لمفاهيم الاحتمال واللاإستقرارية والحادث. فالترمودىناميكا لم تعد اليوم علماً نفعياً «ينقذ» الظاهرات التي تتعلق بها حياتنا العملية. بل أصبحت علماً أساسياً، حيث تتجرب مسائل جديدة لم تعد موجهة لمواضيع منفعلة وإختبارية، بل لواقع قابل للتأريخ، قابل لأن يسمح لنا بفتح ما كانت الفيزياء التقليدية تحكم عليه بأنه موهم: ألا وهو انبثاق الجديد.

وبعيداً عن التوازن يمكن لنشاط منظومة أن يصبح حساساً لبعض معاملات محيطها، مثل قوة الجاذبية التي يكون تأثيرها في حالة التوازن مهملاً. إن المسافة كبيرة بالتأكيد بين مثل هذا الشرح والإيضاحات التي تفسر الطريقة التي يخلق بها البشر معنى العالم الذي يعيشون فيه. إن الأمر لا يتعلق كما أشرنا إلى ذلك باستمرار بجعل هذه المسافة معدومة، و«تطبيق» مفاهيم الفيزياء البعيدة عن التوازن على علوم الحياة والبشر، بل بتحديد أصل تجانس جديد بين العلوم. ويعرف الفيزيائيون مذاك أن نمط وصفهم، اختيار ما يمكن إهماله أو يجب أخذه بعين الإعتبار في تعريف موضوعهم، لا يعطى مرة واحدة وإلى الأبد بل يمكن أن يتعلق بشكل جوهري بنظام فعالية ما يدرسونه. وهم يكتشفون عبر هذه النقطة بالذات مشكلة كل علم صيرورة، إمكانية أن يغير التطور معنى ودور وديمومة المتحولات التي نريد فهم هذا التطور من خلالها.

لقد ساد العلوم وجزأها لفترة طويلة مثال الموضوعية الناجم عن العلوم الفيزيائية. وكان على علم، لكي يكون جديراً بهذا اللقب، أن «يحدد موضوعه»، ويحدد المتحولات التي يمكن للتحركات المراقبة تبعاً لها أن تفسر بل وحتى أن يتم التنبؤ بها. وثمة اليوم تصور جديد لـ«الموضوعية العلمية» في طور الولادة، وهو يوضح الصفة التكاملية وليس التعارضية للعلوم التجريبية، التي تخلق وتختبر مواضيعها، وللعلوم السردية التي تهتم بالتاريخ الذي يبني نفسه بخلق معناه الخاص.

ومنذ الآن تتضاعف أنماط جديدة من «نقل المعرفة» بين العلوم. وهكذا، وكما سبق ورأينا، فإن دراسة «الجواذب» التي تميِّز المنظومات المبدّدة تقدم للعلوم الأخرى أدوات تصورية تحرض، بعيداً عن تقليصها إلى تصنيفات الفيزياء -

الكيميائية، تمييزات جديدة ومسائل غير متوقعة في حقولها. فمع مفهوم الجاذب الهبائي مثلاً لم تعد المسألة تكمن في معارضة التحديدية واللاتنبؤية، بل محاولة فهم «لماذا» يكون تطور ما غير قابل للتوقع، ولماذا كما كان يقول أفلاطون يسلك «حيناً بهذا الشكل وحيناً بشكل آخر».

هل بإمكاننا المضي إلى أبعد من ذلك؟ هل سيمكننا يوماً فهم الصيرورات التي تعبر عنها وتؤكدها التمييزات بين العلوم المختلفة؟ إن مسألة أصل الحياة تُفرض بالتأكيد من هذا المنظور على أنها التحدي الأعظم. فكيف ندرك تاريخاً قابلاً لتحويل المنظومات الفيزيائية ـ الكيميائية إلى كائنات حية؟ إن هذا التحدي يحرض اليوم مسائل معاكسة تتبدّى في تقليص للبيولوجيا إلى الفيزياء الكيميائية. ويقود ذلك إلى تحول حقيقي للكيمياء.

فمن بين كل أشكال الفعاليات المبدّدة يتميز النشاط الكيميائي في الحقيقة بأنه يندرج في المادة، ويخلق جزيئات قابلة لتصبح هي نفسها ممثِلة في أنماط جديدة للتاريخ. كيف ندرك شروط إنتاج جزيئات «هامة» متنوعة جداً ومتناسلة في آن واحد بما يسمح للتاريخ أن يبنى إنطلاقاً منها: تلكم هي المسألة التي طرحناها. كيف نتخيل القيود، و«قوانين اللعبة» التي ستحرض تاريخاً ستكون مثل هذه الجزيئات فيه الممثلات والنواتج في آن واحد: ذلكم هو موضوع أبحاث مانفريد إيجن Manfred Eigen وفريقه[5]. إن أصل الحياة لا يزال حتى الآن لغزاً، لكنه بات من الواضح منذ الآن فصاعداً أن الصلة بين الفيزياء الكيميائية والبيولوجيا لن تمر عبر «فيزيوة physicalisation» (نزوع لجعل لغة الفيزياء اللغة الشاملة) الحياة بل عبر «تأريخية historicisation» (جعل التاريخ هو النطاق الشامل لحقل ما) الفيزياء الكيميائية، واكتشاف إمكانيات التاريخ الفيزيائي الكيميائي للمادة.

وذلكم بالنسبة لنا المثال النموذج لتجانس جديد نعتقد أنه بات ممكناً منذ الآن بين العلوم، تجانس مؤسس ليس على تعريف موحد لـ «الموضوعية العلمية»، إنما على مسألة مشتركة، هي مسألة الصيرورة، التي ترجعنا إليها ديمومة أسئلتنا بقدر ما تعيدنا إليها حدودنا، ومصداقية تمثيلاتنا بقدر الضرورة في بعض الظروف لتحويلها بشكل نوعي.

لربما كنا هنا قريبين جداً لما كان أساس فكرة «ديالكتيك الطبيعة»، هذا مع بقائنا بعيدين بقدر ما يمكن عن الرؤية العقائدية التي حرضتها. إن أي «قانون

ديالكتيكي» (قانون جدلي) لا يستطيع أن يحكم بطريقة ثابتة الصلات بين العلوم، ولا إعطاءنا تفسيراً ـ أو رؤيا ـ عامة للمستقبل. ففي الحقيقة لكل قانون نزعة السيطرة على إقتصاد مخاطر السرد: إنه يسمح بأن تحدَّد مسبقاً الأسئلة الدائمة، ويفصل ما يميِّزه كمعقول عمّا ليس سوى ظروف سردية. إن التجانس الذي نصفه هو من نمط جدلي، طالما أنه يجابه كل تساؤل وكل نمط معقولية وكل أداة معرفة مع مسألة شروط استمراره الخاصة. لكنه لا يجيز أي انتقال يمكن أن يقود من تعددية هذه المسائل المحلية إلى رؤيا شاملة. فهدفه ليس «علماً» موحداً للصيرورة، بل انفتاحاً للعلوم على مسألة الصيرورة.

أن نفهم الظاهرات وليس أن «نخلصها»، أي إخضاعها لمعيار يصون علمانياتها: من الممكن أن يبدو غريباً أن تطور الفيزياء يلهم اليوم نتائج مماثلة لنتائج ديدرو Diderot مثلاً، في حين أن فيزياء الأمس كانت قد قادت كانط إلى نتائج مناقضة: إنما ليس على الفيزيائي أن «يتعلم» من الطبيعة، بل أن يتوجه لها كقاض، عارفاً مسبقاً كيف يجب أن تجيب ولأية مبادىء تخضع. إن الفيزياء اليوم لم تعد علماً لكون لانهائي بل مغلق فيما يخص تحركاته وأنماط معرفته الممكنة: وهي لم تعد غريبة على تردّد وقلق رجل مثل غيوم دو باسكرفيل Guillaume de Baskerville وهو يفكّ رموز إشارات غامضة، ويبني تفسيرات تخمينية تخترع معنى لتاريخ ما وتقود البحث. لكن كيف نوفق بين ديدرو وكانط، وبين غيوم دو باسكرفيل وأينشتاتين، وبين فيزياء الصيرورات المبدّدة ونظريات الفيزياء الأساسية التي تعرف اللاعكوسية وسهم الزمن على أنهما وهمان؟

كانت لازمة كتابنا هذا المطلب: إذ يجب أن يكون من الممكن وصف الزمن اللاعكوس على كل مستويات الفيزياء، وإلاّ فإنه لن يمكن فهمه على أي مستوى. إن إرث الفيزياء، واكتشاف الخصوبة المميزة لـ «فيزياء الأبدية»، والدقة المدهشة لاتفاقها مع المعطيات التجريبية، كل ذلك يجبرنا، مثل أطفال أفلاطون الصغار، على ربط الزمن بالأبدية. إننا لا نستطيع تثبيت فيزياء للصيرورة دون أن «نفهم» في الوقت نفسه الأبدية، واستمرار النظريات الأساسية التي تنفي سهم الزمن. إلاّ أنه من العبث الاعتقاد بأنه من واقع تصفه قوانين غير زمنية «يولد» الزمن اللاعكوس.

كانت الفصول الثلاثة الأخيرة من كتابنا مخصصة إذن لـ «إعادة ابتكار» لمعنى التقليد الفيزيائي. ولم يكن الأمر يتعلق، كما في حالة الترمودبناميكا، باكتشاف

نمط المعقولية آلذي كان يتطلبه مجال قلما استكشف بعد، مجال السيرورات البعيدة عن التوازن، بل طرح صرح نظري للمناقشة يرمز سكونه وخصوبته في نظر الجميع لانتصار الفيزياء. كيف نعتقد أن بنى تصورية ـ النسبية والميكانيك الكمومي ـ أُيِّدت منذ إنشائها بشكل متميز، حتى في علاقاتها الضمنية غير المتوقعة، بواسطة التجربة، أمكن لها أن تجهل سهم الزمن إذا كان هذا الأخير يسم موضوعاتها؟ وكيف لا نقرأ في انتصار هذه العلوم، التي ماثلت بين المعقولية واكتشاف «الأبدية» إلى ما وراء التغير، الحكم على اللاعكوسية بنظام ظاهراتي فقط؟

لقد حاولنا في كل حالة تحديد عيب أو نقص، وإبراز حد جوهري لنمط التصورية الكلاسيكي، حد تبدّى أنه انطلاقاً منه يمكن في آن واحد فهم نجاحه وتحويل معناه. وفي كل حالة رأينا ظهور سهم الزمن هذا الذي كان يقيننا يقودنا للبحث عنه تماماً حيث كان يبدو أنه نُفي بغلبة. فكيف لا نختبر ونشعر ونحن نختتم هذا الكتاب بإحساس الدهشة المتعجبة؟ وكيف لا نرى أيضاً بشكل إستعادي، في الطريقة التي أمكن للبنى التصورية الأساسية للفيزياء أن تتجاهل سهم الزمن هذا الذي نكتشفه اليوم على كل المستويات، الشاهد على الإبداع البشري، وعلى قدرة الفكر الرمزي الذي يخلق عالماً هو في آن واحد «مفتقر ومبسط بل ومكثف أيضاً ومعظم[6]»؟

كانت مسيرتنا مختلفة في كل فصل من الفصول الثلاثة التي قادتنا إلى إعادة اكتشاف سهم الزمن، تماماً كما أن النظريات التي عالجناها في هذه الفصول مختلفة. في حالة الديناميكا الكلاسيكية كانت المسألة تنطوي على إعادة تفسير للنظرية: فمنذ بوانكارية كان من المعروف أن معظم المنظومات الديناميكية ليست منظومات ساكنة، «قابلة للتكامل». ونعرف اليوم أنه بشكل عام لا يمكن لتطور هذه المنظومات أن يوصف بمصطلحات المسارات التحديدية والعكوسة. ويا للعجب، فإن الشكلانية الحالية للميكانيك الكمومي هي شكلانية «متضامنة» مع مثال الديناميكا الكلاسيكية. فعلى الميكانيك الكمومي إذن أن يعاني من تغير جذري لكي يمكن تعريف سهم الزمن على المستوى الكمومي. وأخيراً، وعلى المستوى الكوني، ولدت مسألة الزمن من مشكلة لم تكن النماذج الكونية المعتادة تسمح بمعالجتها: إنها مسألة خلق المادة التي تعمر كوننا الحالي والتي تحدد معادلات أينشتاين علاقتها مع البنية الهندسية للزمكان.

فالديناميكا الكلاسيكية لم تكن تطرح كما أسلفنا إلاَّ مسألة إعادة تفسير. ومع ذلك فقد قادتنا هذه المسألة إلى جذور الفيزياء الحديثة، إلى مثال المعرفة الكلية الذي سمح للفيزيائي بمقارنة معرفته بمعرفة الله الخالق. وهذا المثال نفسه هو الذي عاد للإنبثاق بشكل صريح في نهاية القرن التاسع عشر مع الجدالات التي حرضها التفسير الحركي للانتروبيا التي اقترحها بولتزمان. فإذا كانت لدينا القدرة، بدلاً من أن نكون مجرد مراقبين فقط ومختبرين غير كاملين، على «رؤية» جمهرة من الجسيمات كما يرى علم الفلك النظام الشمسي وعلى إسناد حالة بدئية لهذه الجمهرة من اختيارنا كما نحن قادرون على فعل ذلك من أجل نواس أو صاروخ، فإن اللاعكوسية والاحتمالات ستفقد معناها. وكنا لنستطيع حساب اللحظة التي يقود فيها تطور لاعكوس ظاهرياً المنظومة إلى حالتها الإبتدائية وخلق تطورات تبعد منظومة عن توازنها.

إن تطور تقنيات المماثلة الرقمية يسمح اليوم باختبار هذه القدرة التي كانت تعود في القرن التاسع عشر إلى التجارب الذهنية وحدها. لكن هذه التقنيات بدلاً من أن تقلص التباعد الذي يفصلنا عن مثال المعرفة الكلية، تبدي على العكس صفة اللاتجاوزية. إنه معنى مفهوم «الأفق الزمني» الذي كان مركز فصلنا الخامس. فكل معرفة منتهية، أكانت تعود لحاسوب قادر على الحساب بعدد من الأرقام العشرية كبير بقدر ما نريد، أو إلى مراقبين بشر، تصطدم في حالة المنظومات الديناميكية الهبائية بالحد نفسه: فبعد زمن تطور يرجع للديناميكا الجوهرية للمنظومة يفقد مفهوم المسار الفردي معناه، ووحده يبقى الحساب الإحصائي لاحتمالات التطور.

فاللاعكوسية والاحتمالات لا تتعلقان إذن بحدود معرفتنا، بل تعبران عن وجود أفق زمني بالنسبة لمنظومة ديناميكية هبائية يحدّ من ديمومة كل معلومة حاضرة في موضوع الصيرورة. وبذا استطعنا أن نفهم لماذا كان بولتزمان محقاً بجعل النظرية الحركية الجسر بين الديناميكا والترموديناميكا، والدرب التي تقود من عالم المسارات إلى عالم السيرورات الفيزيائية ـ الكيميائية.

ومن وجهة نظر المثال الديناميكي الكلاسيكي، فإن «الحادث» الذي يشكله التصادم في أساس النظرية الحركية لا يطرح أي مسألة خاصة. إن تغير حالة المنظومة الذي يؤدي إليه التصادم هو تغير عكوس على غرار كل تطور ديناميكي:

إنما يكفي، «بشكل مباشر» كما أشار لوشميدت، عكس السرعات لكي ينعدم الأثر اللاعكوس ظاهرياً للتصادمات بواسطة تصادمات معاكسة. لكن المماثلة الرقمية، التي تسمح لنا «بتحقيق» حلم عكس متزامن للسرعات، تدلنا أن هذه المباشرة وهمية. فكلما إمتد زمن التطور السابق لعكس السرعات، كلما كان أثر هذا العكس أقل. وبالنسبة لأزمنة طويلة يسيطر سهم الزمن على تطور المنظومة.

فمن أجل بناء معنى جوهري للإختلاف النوعي بين نمطي التطور اللذين يظهران، «بشكل مباشر»، على أنهما متكافئان بحصر المعنى، ـ التطور الذي يُبعد عن التوازن والتطور الذي يقود إليه ـ، من الضروري كسر التناظر الزمني الذي يسنده مثال المعرفة الكلية للتصادم. إن التصادمات التي تسوق المنظومة باتجاه التوازن والتصادمات التي تبعدها عنه تختلف بشكل نوعي: فالأولى تخلق الصلات بين الجسيمات المستقلة، والثانية تنتج بين جسيمات «متصلة مسبقاً» وتدمر الصلات بين هذه الجسيمات. ومذاك تجد سيطرة سهم الزمن معناها في ديناميكا الصلات التي خلقتها التصادمات. إن الاستحالة الفعلية لعكس تطور منظومة بعد زمن طويل تعبر عن «دفق الصلات» الذي يضيع خلال زمن التطور هذا في «بحر» من العلاقات اللانهائية التضاعف واللاتجانس.

لكن ديناميكا الصلات لا تتحدد بإعطاء صياغة دقيقة للوصف الحركي للتطور باتجاه التوازن. فهي تحمل أيضاً تصوراً جديداً للتوازن نفسه. ففي المنظور القديم كان وصف حالة التوازن بعيداً عن كل تمييز بين الماضي والمستقبل. وكان هذا التمييز يبدو بالتالي أنه يتعلق بشكل بحث بوضعية عيانية للاتوازن. والحال أن الدفق اللاعكوس للصلات يميز أيضاً بالدرجة نفسها حالة التوازن والحالات البعيدة عن التوازن. وحتى في حالة التوازن فإن التصادمات تخلق في الحقيقة صلات تختفي دون إنتاج الأثر العياني. يمكننا إذن عكس المنظور التقليدي: فليس التباعد (العياني) عن التوازن المسؤول عن سهم الزمن بل إن الحالة العيانية للتوازن هي المسؤولة عن ذلك بسبب أن سهم الزمن هذا، الماثل دوماً على المستوى الصغري ليس له في هذه الحالة أثر عياني.

يشكل التصادم، وهو انتقال لكمية الحركة وللطاقة الحركية بين جسيمين، مثالاً على «الطنين» من وجهة نظر الديناميكا. والحال أن وجود نقاط الطنين كما نعلم منذ بوانكاريه هو الذي يمنع تحديد معظم المنظومات الديناميكية على أنها

قابلة للتكامل. تميز إذن النظرية الحركية، التي توافق حالة منظومة ديناميكية كبيرة لها نقاط طنين في كل أنحاء فضاء المراحل تقريباً، تحول مفهوم الطنين: فهذا الأخير يكف عن أن يكون عائقاً للوصف بعبارات المسارات التحديدية والعكوسة، ليصبح مبدأ جديداً للوصف لاعكوساً واحتمالياً بشكل جوهري.

إن مفهوم الطنين هذا نفسه هو الذي عدنا فلقيناه في قلب الميكانيك الكمومي، طالما أنه هو الذي استخدمه ديراك Dirac ليفسر الأحداث التي تفتح منفذاً تجريبياً على الذرة، ألا وهو إصدار وامتصاص فوتونات نوعية الطاقة يشكل طيفها البصمة الحقيقية لكل نمط من أنماط الذرة.

لقد سحر الميكانيك الكمومي الفيزيائيين والفلاسفة والمؤرخين. وقد قرأ معظمهم في تاريخه الضياع ـ النهائي كما كان يبدو ـ لمثال الوصف الفيزيائي الواقعي الموجه إلى عالم مستقل عن المراقبة. وقد قرأنا فيه الانتصار المناقض للمثال كانت قد تطابقت معه تقليدياً الواقعية الفيزيائية، مثال التحديدية الذي كان يحله المسار الديناميكي.

ولهذا فقد شددنا على التعارض بين النظرية الكمومية الأولى المنسوبة لبور وسومرفيلد وأينشتاين والميكانيك الكمومي الحالي. كانت النظرية الأولى تزاوج وصفاً «ميكانيكياً» للذرة مع وصف احتمالي بجوهره «للقفزات» بين المسارات الالكترونية التي تترافق مع امتصاص أو إصدار فوتون. وأعطت النظرية الثانية للذرة وصفاً ميكانيكياً بحتاً منسوخاً عن نموذج المنظومات القابلة للتكامل. وضمن هذا المنظور إنما فسّر ديراك بمصطلحات الطنين بين الذرة والحقل الكهرمغنطيسي الانتقالات الالكترونية المحرضة والطوعية.

ويشكل الميكانيك الكمومي الحالي دون شك الرمز الأفضل لفيزياء ممزقة بين الزمن والأبدية. فمن أجل فهم أن العالم الشفاف للمسارات الديناميكية يجعل من إمكانية مراقبته أمراً لامعقولاً، علينا أن نتحرر من التمثيل المثالي لعالم الفلك الذي يراقب سماء لا تؤثر عليها قياساته وأن نتذكر أن كل قياس يفترض لاعكوسية علامة ما. لكن العالم الكمومي لا يكون بتناول قياساتنا إلاّ عبر الأحداث التي تؤثر به، وعبر صيرورته الاحتمالية واللاعكوسة بشكل جوهري. والحال أن الشكلانية الحالية، إذا كانت تسمح بتنبؤات متفقة بشكل مميز مع التجربة، لا يمكن أن تعطي معنى دقيقاً للحادث الإحتمالي الذي تؤلفه على سبيل المثال الإنتقالات الالكترونية

التي تعطينا إمكانية الولوج إلى الذرة. ويتعلق زمن الحياة، الذي يميز مع ذلك بطريقة أصيلة سوية محرضة، بمقاربة في هذه الشكلانية ويفقد معناه إذا ما استمر الحساب إلى أبعد من ذلك. ومذاك كان للميكانيك الكمومي أن يتعرف على الحادث دون أن يتمكن وهو وريث فيزياء الأبدية، من إعطائه معنى موضوعياً. ولهذا أمكن أن يبدو أنه يطرح حقيقة العالم المراقب نفسه الذي كان عليه أن يجعله معقولاً.

يشكل الميكانيك الكمومي إذن، من خلال بنيته الخاصة، صورة أطروحة غريب أفلاطون: فبدون الصيرورة لا يصير الكائن عارفاً. إن اللاعكوسية هي شرط المعرفة نفسه، والتطور العكوس والتحديدي للتابع الموجي، وهو مركز الشكلانية الكمومية الحالية، لا يمكن أن يصف إذن تطور كائن قابل للمراقبة. فالتابع الموجي لا يمكن أن يأخذ معنى فيزيائياً إلاّ بـ «اختزاله» اللاعكوس الذي يسمح بتحديد احتمالات مختلف المقاييس المراقبة التي نستطيع قياسها.

إن البنية الثنائية المتعارضة جداً للميكانيك الكمومي لا تطرح إذن في المنظور الذي هو منظورنا «حقيقة» العالم الكمومي. وهي تبين الصفة المتعارضة خفية للمثال الكلاسيكي: مثال عالم معقول بشكل بحت لكنه يجعل من واقع أننا نستطيع معرفته ومراقبته أمراً غير معقول. فليس بمحاولة ترميم هذا المثال، بل بإعطاء اللاعكوسية والاحتمالات الكمومية معنى مستقل عن المراقبة، إنما يجب للوصف الواقعي للعالم الكمومي أن يكون ممكناً.

ومع ذلك فإن نموذج المنظومات القابلة للتكامل في الميكانيك الكمومي يعبر عن خصوصية العالم الكمومي بالنسبة للذي تصفه الديناميكا الكلاسيكية. إن إمكانية تعريف التحركات الكمومية بواسطة تابع موجي يعبر عن تجانسها الخاص، والذي تعبر عنه من جهة أخرى على المستوى العياني خصائص مثل الناقلية الفائقة. فكيف نكامل سهم الزمن في شكلانية تعرف كل منظومة كمومية منتهية كشبه منظومة دورية وتؤكد بالتالي بطريقة جلية التكافؤ بين الماضي والمستقبل؟

ولكن ما المنظومة الكمومية المنتهية؟ كان على ديراك من أجل أن يفسر الانتقالات الالكترونية الطوعية التي تسند لكل حالة مهيجة زمن حياة منته أن يطرح فرضية حقل تحرضه الذرة وتدخل في حالة طنين معه. فالمنظومة المنتهية التي تمثلها الذرة المعزولة ليست إذن إلاّ تجريداً. فالذرة المتفاعلة مع حقلها هي

«منظومة كمومية كبيرة»، وإنما على مستواها تنتج «كارثة بوانكاريه».

وفي الحقيقة لا تشكل الذرة المتفاعلة مع الحقل الذي تحرضه منظومة متكاملة ولا يمكنها بالتالي أن تتمثل بتطور تابع موجي بقدر ما لا يمكن لمنظومة كلاسيكية مميزة بنقاط طنين أن تمثل بمسار. وهنا يكمن النقص الذي كان يخفيه الصرح المذهل للميكانيك الكمومي. وإبتداء منه إنما أصبح من الممكن تعديل هذه النظرية والتخلي عن مفهوم التابع الموجي لصالح وصف ذي تناظر زمني مكسور يعطي معنى جوهرياً لزمن الحياة، أي للحادث الكمومي. ومن المؤكد أن نتائج نلحظها اليوم لمثل هذا التغيير يجب أن تثبت أو تدحض تجريبياً خلال مستقبل قريب. فإذا أُيِّدت سيمكننا التأكيد أن سهم الزمن، بعيداً عن أن يكون خاصة ظاهراتية مميزة لمنظومة كبرية ـ كجهاز قياس مثلاً ـ، يميز أبسط المواضيع الكمومية، ألا وهو ذرة الهيدروجين.

إن النظرية الكمومية الجديدة التي وضعنا مخططها هنا هي نظرية واقعية. فهي تعطي معنى مستقلاً عن المراقبة للأحداث التي تسمح لنا بتمييز العالم الكمومي. ومن هنا بالذات فإنها تعيد تعريف معنى الأبدية غير القابلة للمراقبة للتابع الموجي وللبنية الثنائية للميكانيك الكمومي الحالي: إن التابع الموجي، وريث ديناميكا المنظومات القابلة للمكاملة، يبقى سارياً في الحالات التي يحرض فيها الحادث، وهو شرط القياس، بالتفاعل مع جهاز تجريبي؛ ولكن في الحالة التي يكون فيها موضوع المراقبة هو الحادث نفسه إنما يجب التخلي عن التابع الموجي وبالتالي أيضاً عن ضرورة إختزاله. كذا يمكننا أن ننسب للذرة نفسها زمن الحياة الذي يميز سوياتها المحرضة.

من الذي يخلق الحادث، ومن الذي يملك المبادرة؟ أنحن أنفسنا، بواسطة الأجهزة التجريبية، أو الكائن الذي نسائله؟ كان على هذا التمييز أن يستبطن في نظرية لم تكن تستطيع إعطاء معنى للحادث الاحتمالي واللاعكوس، تماماً كما كان قد أُخفي التمييز بين الإحتمالات الناشئة عن جهلنا الوقائعي وتلك التي تفرض نفسها بطريقة أصيلة لتمييز سلوك هبائي. إنه يعبر عن التجانس المعاد اكتشافه بين النظرية الكمومية التي اقترحناها ـ والتي تجعل من اللاعكوسية الشرط نفسه لكل معرفة ـ ونمط الولوج التجريبي الذي فتح منذ بداية هذا القرن العالم الكمومي.

لقد شهد الوضع إذن من الترموديناميكا إلى الميكانيك الكمومي إنقلاباً

كـاملاً. فـاللاعكـوسية لم تعـد ما يجب تفسيـره، أكان من خـلال الشروط العيانية للاتوازن أو عبر فعل المراقبة. بل إنها على العكس خصوصية الأوضاع التي توافقها القوانين العكوسة التي تتوضح بذلك. ومع ذلك يبقى المجال الذي حقق فيه الـزمن التطوري منذ بداية هذا القرن غزواً غير متوقع، ألا وهو علم الكونيات.

وفي الحقيقة بدأ تاريخ النماذج الكونية مع الإخفـاق الذي لقيـه مثال الأبـدية حيث كـان يبدو أنـه يجب أن يشهـد أعـظم انتصـاراتـه: في تصـوّر أينشتاين لكون سكوني مطابق أبداً لنفسه. وكما سبق وأشرنا فإن الكون المتمدد للنمـوذج «المعيار» المسيطر اليوم ليس لهذا كوناً في صيرورة. وكان ليمكنه بالمقدار نفسـه، من منطلق معادلات النسبية العامة، أن يكون كوناً متقلصاً، وكما نعلم فإن أحـد السيناريـوهات الكونية المحتملة بحسب هذه المعادلات هو عود أبـدي لمراحـل متتاليـة من التمدّد والتقلص.

وقد اعتبر الفيزيائيون دائماً الحد الجوهـري للنموذج المعيـار كمسألـة كبرى. وفي الواقع لم يحل محل الأبدية الساكنة ببساطة كون أبدي التطور، بل كـون يطرح مشكلة فرادته الأصلية، الخصوصية المقترنة بالإنفجار الكبير كما دعاه سـاخراً فـريد هـويل Fred Hoyle. فـإذا ما «عـدنا» بتـطور الكون إلى الـوراء كما يصفـه النموذج المعيار علينا أن نصل إلى حالة لا يمكن تصورهـا فيزيـائياً حيث تكـون كلية الـطاقة والمادة متمركزة في نقطة.

ومنذ نحو عشرين سنة أدّى اكتشـاف الإشعاع المتحجـر، وهو الشـاهد الـذي وصلنا بطريقة غير ملحوظة تقريباً من «نهاية» البيغ بانـغ، بنتيجة إنفكـاك الضوء عن المادة، إلى تحويل الكونية الأينشتانية إلى علم نشوء حقيقي للكون. فتمـدّد الكون خـلال الثلاثمـائة ألف سنـة «الأولى» من عمره يتبـطن بتاريـخ انتقـال مـواد فيـزيـاء الطاقات العالية باتجاه مواضيع الميكانيك الكمومي المعتاد: الـذرات المتفاعلة مـع حقل كهرمغنطيسي. ومع ذلك تظل «الخصوصية» نفسها غير قـابلة للإختـراق ومعها الكون «على سلم بلانك» وزمنه المميز من رتبة 10^{-44} ثانية.

إن الخصـوصية البـدئية المقتـرنة بـالبيغ بـانغ هي النتيجـة المبـاشـرة للصفـة السكونية لعلم نشـأة الكون الأينشتاني ولتناظر العـلاقات الـذي يقيمه بين الـزمكان والمادة. ويكبسر هذا التناظر، ووريث النظرية النيوتونية للكتـل المتفاعلة تثـاقلياً، في المنظور الذي طرحناه. فالمادة تتميز عن الزمكـان بما هي حـاملة لانتروبيـا الكون.

ووجودها لم يعد أمراً معطى كما يفترض ذلك النموذج المعيار بل نتاج صيرورة لاعكوسة من الخلق. وهكذا تحل محل الخصوصية البدئية لاإستقرارية كون بدئي خال، ينحني فيه الزمكان بإشعاع المادة كما تعود ذرة محرضة إلى حالتها البدئية بإشعاع الضوء.

وهنا أيضاً شهد مفهوم اللاعكوسية تحوّلاً جذرياً. فقد شهدنا كيف أن ارتباطها ظاهرياً بمعرفة غير كاملة أصبح الشرط نفسه لكل معرفة. ونراها الآن مرتبطة ليس بالموت الحراري للكون بل بولادته، وليس بتطور يقود بلا رجعة باتجاه حالة ساكنة، بل ربما لتتال أبدي من الأكوان. فكيف لا ندهش لهذه العودة العجيبة باتجاه تصور قديم للأبدية؟ ولكن ألم يكن هذا التصور يتغذى هو نفسه بمعرفة عودة الفصول وعودة الأجيال وبإيقاعات طبيعة نسجت من سيرورات لاعكوسة جوهرياً ومع ذلك لا تنفك تولد من جديد؟

إن العود الأبدي الذي يسمح اليوم علم نشأة الكون ليس بتأكيده بل بتصوره ليس عودة للفيزياء باتجاه الأساطير. إنه يرمز بالأحرى إلى واقع أن اللاعكوسية أصبحت منذ الآن فصاعداً مجردة من المفاهيم السلبية التي كانت تشكل إرث فيزياء القرن التاسع عشر، والتي كان المبدأ الثاني للترموديناميكا فيها يحدّ بإعلان عدم المقدرة البشرية على إخضاع السيرورات الفيزيائية ـ الكيميائية لمبدأ السبب الكافي. وقد فرض التمييز في الفيزياء بين السابق واللاحق على أنه خطأ في البداية وابتعاد عن المثال. ومع التصور الكوني لبولتزمان تطابق هذا الابتعاد مع وجود الكون نفسه: كان ذلك برهان المحال لما لم يكن لمعرفتنا ولا لوجودنا إدراكه دون اللاعكوسية، في عالم يحكمه مبدأ السبب الكافي وحده. ولم تعد اللاعكوسية اليوم تعني الابتعاد عن المثال، بل الصيرورة بقدر ما تفترض سهم الزمن، وبقدر ما لا يمكن أن تكون مفهومة بالمساواة العكوسة للسبب والنتيجة، بل إنها تسمح على العكس بأن نفهم الوضعيات التي أمكن فيها لمثال هذه المساواة أن يعطي للفيزياء أولى مواضيعها كوضعيات خاصة.

لقد سميت مسألة معرفة «لماذا يوجد شيء ما بدلاً من أن لا يوجد شيء بالأحرى» المسألة الفلسفية بامتياز. ويمكننا القول إن الفيزياء وجدت اليوم الوسائل للإجابة على هذا السؤال. ومع ذلك فإن السؤال بالمعنى الفلسفي قد إنزاح في الحقيقة. ويمكن صياغته بالشكل: «لماذا يوجد سهم للزمن؟». ذلك أنه، في نهاية

هذا المسير حيث انكسر بالتتالي العديد من مثل الأبدية، وحيث حلت الصيرورة اللاعكوسة على كل المستويات محل الديمومة والثبات، فإن سهم الزمن يفرض نفسه كفكرة جديدة للأبدية. إنه هو الذي كان قد حكم عليه أنه متعلق فقط بالصفة التقريبية لمعرفتنا والذي نعود لنجده من بعد كشرط، هو نفسه غير مشروط، لكل مواضيع الفيزياء من ذرة الهيدروجين وحتى الكون نفسه. إنه هو الذي يسمح لنا بالاعتقاد بترابط الأزمنة المتعددة التي تؤلف كوننا، والسيرورات التي تتقاسم المستقبل نفسه، وربما حتى هذه الأكوان نفسها التي يمكننا الإعتقاد اليوم بتتاليها اللامحدود.

إن الفيزياء تكشف لنا اليوم كما أسلفنا تجانساً جديداً. وربما ليس ثمة رمز أفضل لهذا التجانس من واقع أنها تكتشف، في جذور الكون نفسها التي استطاعت أن تجعله بطريقة مفاجئة موضوعاً لها، الإختلاف الجوهري بين الماضي والمستقبل والذي لا نستطيع بدونه أن نفكر أو نتكلم أو نتحرك.

إن التعارض بين الزمن والأبدية الذي كان يجعل منذ البداية من الفيزياء وريثة التعارض الأفلاطوني بين الحقيقي المعقول، موضوع المعرفة الفكرية، والظهورات المتغيرة، التي تهم المعرفة الحسية، فقد اليوم إذن صفته السكونية والتراتبية. لقد تحول إلى توتر مبدع يحدد موضع فيزياء اليوم بالنسبة لإرث يعرفها وتعيد تعريفه بدورها.

ومن هذا المنظور فإنه لأمر ذو مغزى أننا صادفنا في كل مكان مفهوم «انكسار التناظر». فهذا المفهوم يستتبع مرجعاً لا يمكن ظاهرياً للتناظر المثبت بالقوانين الأساسية التي تشكل إرث الفيزياء أن يتجاوزه. وفي الحقيقة فإن هذه القوانين هي التي قادت بحثنا خلال المراحل الأولى. ومنها إنما طلبنا أن تحدد خصائص حدودها. ولكن خلال مرحلة ثانية سمح الوصف ذو التناظر الزمني المكسور بفهم التناظر نفسه على أنه متعلق بخصوصية المواضيع التي كانت الفيزياء تفضلها فيما مضى، أي بموضعة خصوصيتها في إطار نظرية أكثر شمولاً. يسمح إذن كسر التناظر بـ «ولادة تصورية» لسهم الزمن إبتداء من القوانين التي تنفيه. لكن هذه الولادة لا يجب أن تخلط مع «ولادة فيزيائية» «تفسر» ولادة زمن لاعكوس إبتداء من قوانين عكوسة. إن كسر التناظر الذي يستقيم معه معنى سهم الزمن يعيدنا، مثل «كسر الدائرة» الكبلرية، ليس إلى الطبيعة بل إلى التقليد الفيزيائي.

ما الزمن؟ كان أرسطو قد عرّفه على أنه عدد الحركة في منظور القبل والبعد. وكان هذا التعريف يفصل الزمن عن الصيرورة، ويواجه «النفس» التي تعدّ والتي تقيم الصلات، والحركة الدورية للنجوم، التعبير المخلص لسكونية العلة الأولى، المعيار المشترك الذي يسمح بقياس مختلف الحركات. وكان يمكن لهذا التعريف إذن أن يحرض مسألة معرفة من الذي يحدد منظور وإمكانية القبل والبعد. فهل يرتبط هذا المنظور بالنفس التي تعدّ أم أنه مندرج في الحركة الأبدية التي يكون العد ممكناً إنطلاقاً منها؟ كان هذا السؤال، الذي وسعه اعتراف أوغسطينوس بشكل مؤثر ـ لا أستطيع التعبير بكلمات عن هذا العلم الذي كنت أعتقد مع ذلك أنه لدي عن الزمن ـ، مستوراً ومحسوماً في الفيزياء الحديثة في آن واحد: مستور طالما أن الحركات الديناميكية لم تعد مقاسة بطريقة خارجية بزمن ـ عدد يسندها إلى إنتظام حركة دورية، بل معرفة بقانون زمني جوهرياً؛ ومحسوم طالما أن هذا القانون لا يسمح بتعريف الفرق بين القبل والبعد بطريقة «موضوعية». وكما سبق ورأينا وجد الميكانيك الكمومي نفسه في مواجهة المسألة نفسها بطريقة صريحة. وكان قد حرض صعوبات تفسير شكلانيته واقع أنه باتباعها ستكون «النفس» فعلاً، من أجل العد، أي من أجل المراقبة أيضاً، التي ستدخل منظور القبل والبعد الذي يفترضه ويخلقه فعل المراقبة.

ونحن لا نعرف أكثر من أوغسطينوس ما هو الزمن، إنما يمكننا من بعد إرجاع قوانين الحركة للتعريف التكاملي لأرسطو. إن القياس الجوهري للحركة يفرض منظور القبل والبعد. كانت الحركة التي «إخترعها» غاليليه وخلفاؤه تربط بين اللحظة والأبدية. ففي كل لحظة كانت المنظومة الديناميكية تحدد بحالة تشتمل على حقيقة ماضيها كما ومستقبلها. والحركة كما ندركها اليوم تعطي ثخانة للحظة وتربطها بالصيرورة. إن كل «حالة» لحظية هي ذاكرة لماض لا يسمح بتحديد إلاّ مستقبل محدود بأفق زمني أصلي. فتعريف الحالة اللحظية يكسر إذن التناظر بين الماضي والمستقبل، وقوانين تطورها تنشر انكسار التناظر هذا. وكان برغسون قد كتب للتعبير عن الترابط الذي يوحدنا مع زمن الأشياء: «يجب إنتظار أن يذوب السكر». إن هذا الترابط بين زمننا وزمن الظاهرات هو الذي تعبر عنه بطريقة ضمنية القوانين الاحتمالية، التي تسمح لنا بالتنبؤ إنما ليس بإعادة بناء الماضي. وإن هذا الترابط هو الذي تؤكده بطريقة صريحة ديناميكا المنظومات الهبائية.

كانت الصورة التقليدية للعلوم ـ وكنا قد أشرنا لذلك في الميثاق الجديد ـ

مقسمة بين قطبين متناقضين ظاهرياً: البحث عن حقيقة «موضوعية»، إلى ما وراء الظاهرات التي «تهم» البشر، ومشروع السيطرة والانقياد للحساب والتنبؤ. وإلى ما وراء تعارضهما تتلاقى هاتان الصورتان للعقلية العلمية باتجاه نتيجة واحدة: إنه لمن المحتم أن هذه العقلية تفصل البشر عن العالم الذي يعيشون فيه، أكان هذا العالم قد بدا وهمياً أو أنه لم يعد «معتبراً» إلّا بقدر ما يمكن أن يقاس وأن يُختبر. وضمن هذا المنظور وحدها الحرية الإنسانية يمكن أن تعطي لمشاريع المنطق حدودها: الحرية التجاوزية للموضوع الكانطي، التي تعطي معنى للـ«واجب» حيث لا يمكن للعلوم أن تصف الإنسان إلّا على أنه خاضع لترابط الأسباب والنتائج: وحرية المجتمعات البشرية التي يجب أن تختار غاياتها حيث لا يمكن للعلوم أن تحدّد إلّا الوسائل.

إن هذا التعارض الكلاسيكي بين المعرفة العقلية والحرية ـ أو الإرادة ـ البشرية لهو أقدم بكثير من علومنا. فهو يسكن التأملات اللاهوتية فيما يخصّ العلاقات بين حكمة الله الخالق وحريته كلية القدرة، ويموضعنا في هذا التتابع والنَسَب. وذلكم ما يعبر عنه مثال المعرفة العقلية الذي يفترضه، والقريب إلى حد غريب من الهذيان: فلأنه معترف بشكل مباشر لهذه المعرفة بالقدرة على وضعنا بمواجهة عالم شفاف أمام ذكائنا، كما هو الكائن محسوب في نظر الله، إنما «يجب» أن يكون الإنسان «مطلق» الحرية لكي لا يقلص كلياً إلى ظاهرة بين ظاهرات أخرى. إنما لأن العلوم والتقنيات يُفترض أن تضع على السواء في متناولنا مستقبلاً ممكناً تسمح بخلقه وبالتنبؤ به، «يجب» أن «يقرر» المجتمع البشري باسم قيمه ما سيكون مستقبله.

وهكذا لا يمكن أن تفصل العلوم عن المغامرة الإنسانية. فهي لا تعكس الهوية السكونية لمنطق يجب أن نخضع له أو نقاومه، بل أن تشارك في خلق المعنى بمقدار مجموع النشاطات البشرية. إنها لا تستطيع أن تقول لنا «ما هو» الإنسان، أو الطبيعة أو المجتمع بحيث أننا إبتداء من هذه المعرفة نستطيع تقرير تاريخنا. إنها تستكشف واقعاً معقداً يربط بطريقة مبهمة ما نعارضه على لوائح «الكائن« و «وجوب الكينونة». ما تستطيع الطبيعة؟ وما يستطيع الكائن الحي؟ وما يستطيع البشر؟ إن هذه الأسئلة هي التي تسكن خياراتنا ورفضنا. وهي أيضاً أسئلة علوم المستقبل.

كان البحث عن تجانس بين معارفنا خيطاً موجهاً لهذا البحث. ولم يعد من الممكن لهذا التجانس أن تكون له صفة سكونية كان النظام الكوني الأرسطي يضمنها، وهو لا يستطيع أن يحدد مسبقاً ومرة واحدة وإلى الأبد الحدود بين ما هو قابل للعقلنة وما هو غير قابل للعقلنة. إن العلوم مثل التقنيات لا تنفك توسع حدودها، وتحرض إمكانيات تقلب نظام التفكير ونظام المجتمع على حد سواء. إننا مرهونون بشكل لاعكوس بتاريخ مفتوح حيث يُختبر ما يستطيعه البشر ومجتمعاتهم. وهذا التجانس، إنما لا نستطيع إذن أن نحاول اكتشافه على غرار حقيقة كانت موجودة قبل تاريخنا، أكان هذا الأخير يقود إليه أم أنه نسيه. إننا لا نستطيع بناء هذا التجانس إلّا في هذا التاريخ، إبتداء من القيود التي توضعنا فيه إنما التي تسمح لنا أيضاً بأن نخلق فيه إمكانيات جديدة.

ولهذا، وكما أشرنا منذ مقدمة هذا البحث، فإن فيزياء الصيرورة التي وصفنا ولادتها ليست «رؤية للعالم» جديدة، مفصولة عن جذورها، وتفرض نفسها كحقيقة متكشفة. إنها ليست حقيقة نجمت أخيراً عن الزمن، بل ابتكار للغات جديدة وفتح لإمكانيات جديدة في التفكير وقول ما نحياه. كان برغسون قد كتب مرجعاً صدى أوغسطينوس: «إننا لا «نتصور» الزمن الحقيقي. إنما نحن نحياه لأن الحياة تطغى على الذكاء. إن شعورنا بتطوّرنا وبتطور الأشياء كلها في الوقت الصرف ماثل هنا، راسماً حول التمثيل الذهني حصراً هدياً غير واضح المعالم سيختفي في الظلام[7]». إن بناء تجانس بين ما نحياه وما نستطيع التفكير به لهو مهمة مفتوحة، وغير محدودة، إنه يشكل «الموضع المشترك» حيث يمكن لمعارفنا ولتجاربنا أن تدخل في علاقات لا تعارضها في يقينياتها المضادة بل تفتحها على ما يتجاوزها.

ربما كان هذا التقليد الغربي الذي أشرنا إلى ذاتيته يبقى هنا أكثر من أي وقت مضى. ففي أوروبا إنما إنطلقت المغامرة القلقة لمعرفة قابلة لأن تطرح على بساط البحث كل معيار وكل يقين وكل قيمة تقليدية. وفي أوروبا أيضاً إنما ابتكرت فكرة الديمقراطية، والمجتمع المفتوح على مستقبل لا ينمذجه أي نظام مفارق. ويعرف كل منا اليوم أنه أصبح من الجوهري أن العلم والديمقراطية يبتكران شكلاً جديداً للحوار. فلكي يكون من الممكن قيام حوار حقيقي بين تطبيقين يختلفان كثيراً بقيودهما يجب أن يتخلق عالم كثيف ومتعدد من الاهتمامات المشتركة. ذلك أن الاهتمام هو الذي يعطي في آن واحد المعنى للقيود، ويسمح بمعرفتها ليس

كمعايير إتفاقية، وبفهم لا بل وبمقاسمة شغف المسائل التي تشرطها هذه القيود. فأوروبا، حيث تتحرر هذه الاهتمامات التي عرفت لزمن طويل على أنها متعارضة بطبيعتها، اهتمامات «المعرفة» واهتمامات «الحياة»، كما كان يقول غاستون. باشلار Gaston Bachelard، إنما يجب أن تكون حساسة بشكل خاص لتحدي المستقبل هذا. ولربما كان غناها الثقافي، وتنوعها، وتقليدها التاريخي، سيغذون ابتكار تطبيقات جديدة يتطلبها بناء عالم الغد.

الملاحق

مدخل

نريد أن نضيف في هذه الملاحق الثلاثة بعض الملاحظات التي تدقق الطروحات التي دافعنا عنها في هذا المؤلف. وتتطلب قراءة هذه الملاحق معارف أكثر تخصصاً على الرغم من أننا مقيَّدين باعتبارات نوعية وأننا نحيل القارىء إلى المنشورات الأصلية من أجل برهانها.

وقد اخترنا ثلاثة طروحات أساسية في منظور هذا المؤلَّف. ويتعلق الموضوع الأول بالطريقة التي بها تغيِّر السيرورات الديناميكية غير المستقرة بنية الزمكان. وهذه المسألة هي في صلب الحوار بين أينشتاين وبرغسون[1]. وكانت حصيلة هذا الحوار كارثية بالنسبة لبرغسون: ويُقبل عموماً أن هذا الأخير كان قد أخطأ في تفسير النسبية الخاصة لأينشتاين. ومع ذلك، وكما سنبيِّن، فإن وجود السيرورات الديناميكية غير المستقرة يرد الاعتبار إلى حد معين لفكرة «زمن كوني» كان يدافع عنها برغسون.

ويوضح الملحق الثاني فيما يتعلق بمثال الإشعاع ما نعنيه باللاعكوسية الجوهرية (أنظر الفصل السادس) ويبين لماذا تدخل السيرورات اللاعكوسة حتى مستوى الوصف الجوهري.

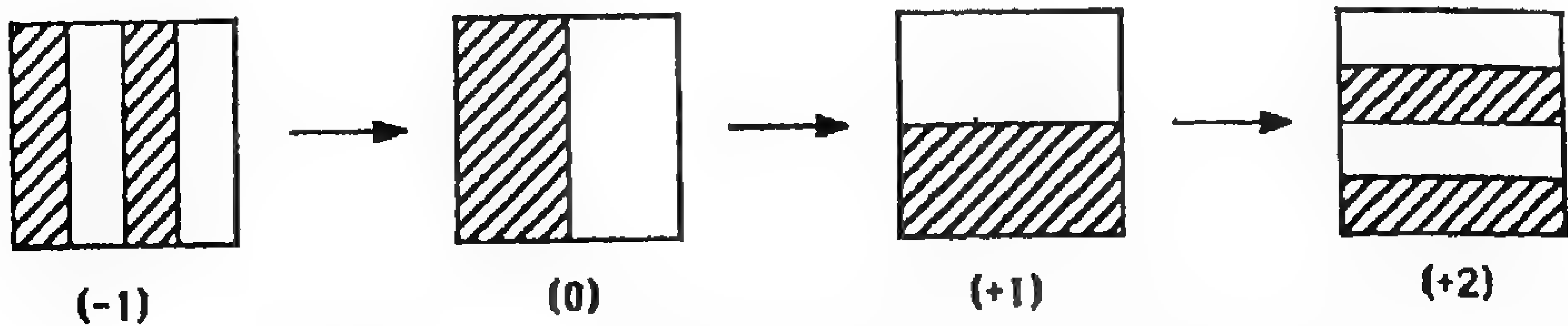
وأخيراً فإن الملحق الثالث يوضح النتيجة المشار إليها في الفصل السابع، والتي يكون الإنفجار الكبير وفقها غير مستقر بنيوياً. وسنناقش فيه بشكل خاص مسألة الجوانب التي يحتفظ بها الكون الحالي من اللحظات الأولى للاإستقرارية التي كانت في بدايته.

الملحق الأول

حقيقة الزمن

في الفصل السابع ذكَّرنا بمترية الزمكان لمينكوفسكي، والتي توافق النسبية الخاصة لأينشتاين. إن مراقباً يستخدم من أجل قياس الأطوال والزمن إحداثيات x، y، z، t؛ ويستخدم مراقب آخر يتحرك حركة مستقيمة بالنسبة للسابق إحداثيات t′z′y′x′. إن الشرط الذي تفرضه النظرية النسبية هو أن الفاصل الزمكاني يبقى ثابتاً. ويؤدي وجود أزمنة متعددة t′,t. . . إلى نتائج مميزة (مثل تناقض التوأم الشهير). فهل يجب إذن الإستنتاج مع مينكوفسكي أن المكان والزمان إذا أخذا منفصلين فإنهما يصبحان من بعد ظلالاً؟

إنه السؤال الذي نود مناقشته بدراسة مثال بسيط لسيرورة ديناميكية غير مستقرة تجري في فضاء مينكوفسكي. ولإيلاج هذا المثال لنعد أولاً إلى تحوّل الخباز الذي ناقشناه في الفصل الخامس. وكما كنا قد أشرنا فإن اللاإستقرارية تتأتى من كون أن نقطة تشتمل على معلومة لانهائية في حين أن قياساتنا أو حساباتنا تقتضي تحديداً منتهياً. وقد سبق ولاحظنا أن اللاإستقرارية تجبرنا على بناء لغة جديدة لوصف مثل هذه المنظومات. وهذا ما سنقوم به بادىء ذي بدء مع ميسرا[2] Misra بإدخال مفهوم «الزمن الداخلي».



الشكل م1.1 ـ تجزئة متتالية يولدها تحول الخباز. تدعى التجزئة (0) «التجزئة المولدة».

لنأخذ منظومة ديناميكية ونصف تطورها في فضاء مراحلها. ولنسمي $\rho_t(\omega)$ إحتمال العثور على منظومة ديناميكية في النقطة ω في اللحظة t. يوصف تطور هذه المنظومة بالشكل:

$$\rho_t(\omega)=U_t\ \rho_0(\omega) \quad (I.1)$$

حيث U_t هو مؤثر وحدة. ولنأخذ متتالية من تحولات الخباز (أنظر الشكل (م 1.1 . فإبتداء من «التجزئة المولدة» (0) يمكننا بناء كل الأجزاء الأخرى بتطبيق التحول عدداً إتفاقياً من المرات. لندعو الجزء الذي نحصل عليه n تطبيق بـ X_n.
إن القانون الديناميكي (I.1) يكتب هنا (التحوّل من أجل $U=U_{t=1}$):

$$X_{n+1}=UX_n \quad (I.2)$$

لكننا نستطيع أن ندخل أيضاً مؤثراً ثانياً، T، يعطي «عمر التجزئة»[3][4].

$$TX_n=nX_n \quad (I.3)$$

ويمكن أن تعرّف الـ X_n «التوابع الخاصة» لـ T، ومجموع القيم n على أنها «قيمها الخاصة». ويصبح الوضع عندها مشابهاً جداً لوضع الميكانيك الكمومي (أنظر الفصل السادس). إن المؤثرين U و T لا يبادلان. وبشكل أدق نجد (بافتراض زمن مستمر):

$$U_t+TU_t=T+t \quad (I.4)$$

فإذا أخذنا توزعاً إتفاقياً (أنظر الشكل م2.1) فإنه لا يعود تابعاً لـ T بل يمكننا حساب القيمة المتوسطة <T> التي تكتب (مع تسوية مناسبة):

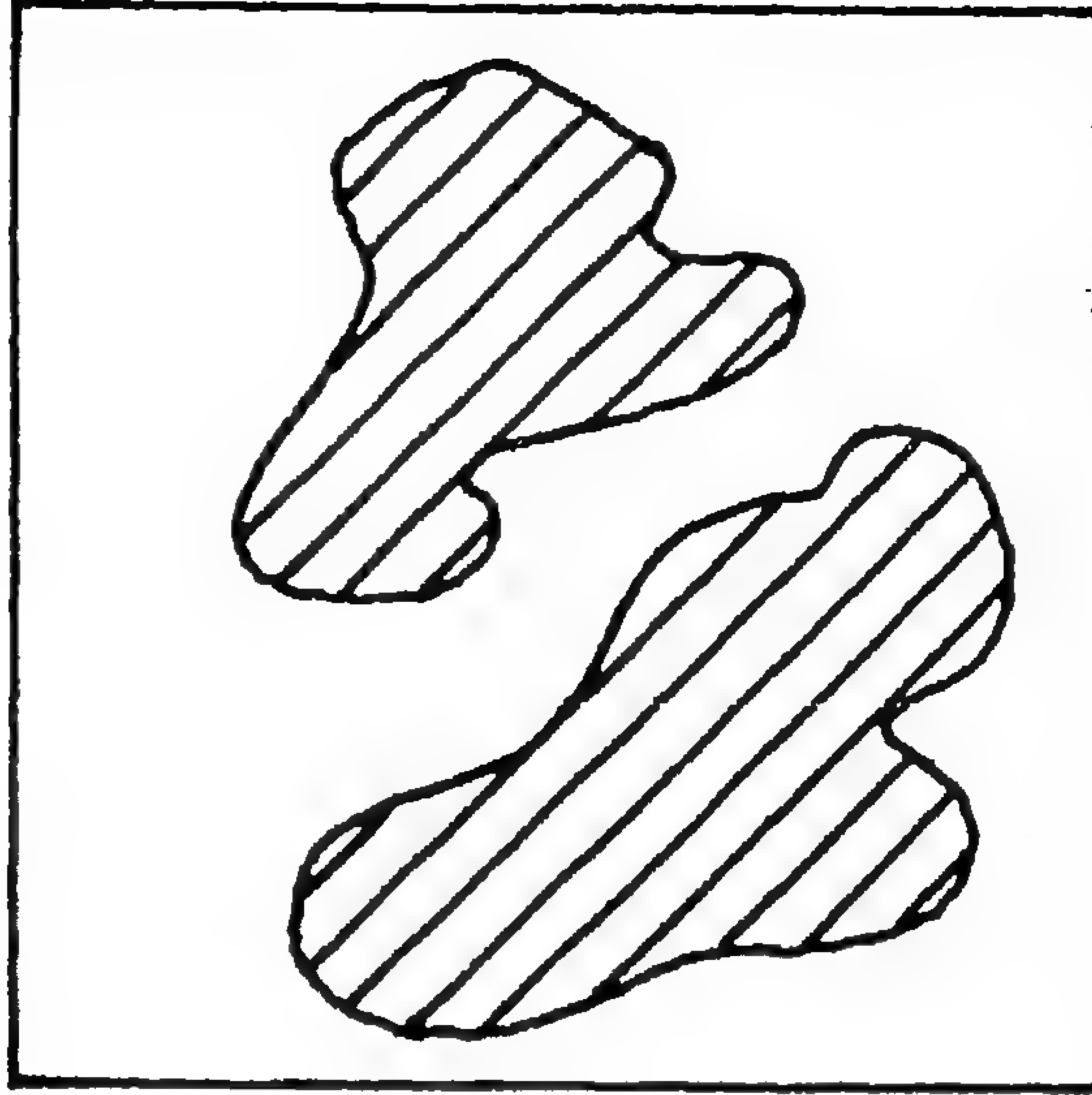
$$\langle T\rangle_{\rho_t}=\langle\rho_t,T\rho_t\rangle \quad (I.5)$$

حيث <،> يوافق ناتجاً لاتوجيهياً $(=\int d\omega\rho_t(T\rho_t))$.

وعندها يكون من السهل أن نبين أن:

$$\langle T\rangle_{\rho_t}=\langle T\rangle_{\rho_0}+t \quad (I.6)$$

فالزمن الداخلي الوسطي <T> يزداد بازدياد الزمن التسلسلي المقاس بـ t. ومع ذلك فإن هذين المفهومين مختلفان جداً. فالزمن الداخلي يتعلق بالتوزع داخل المربع. وهو يقيس تجزئته. إنه زمن «طبولوجي».



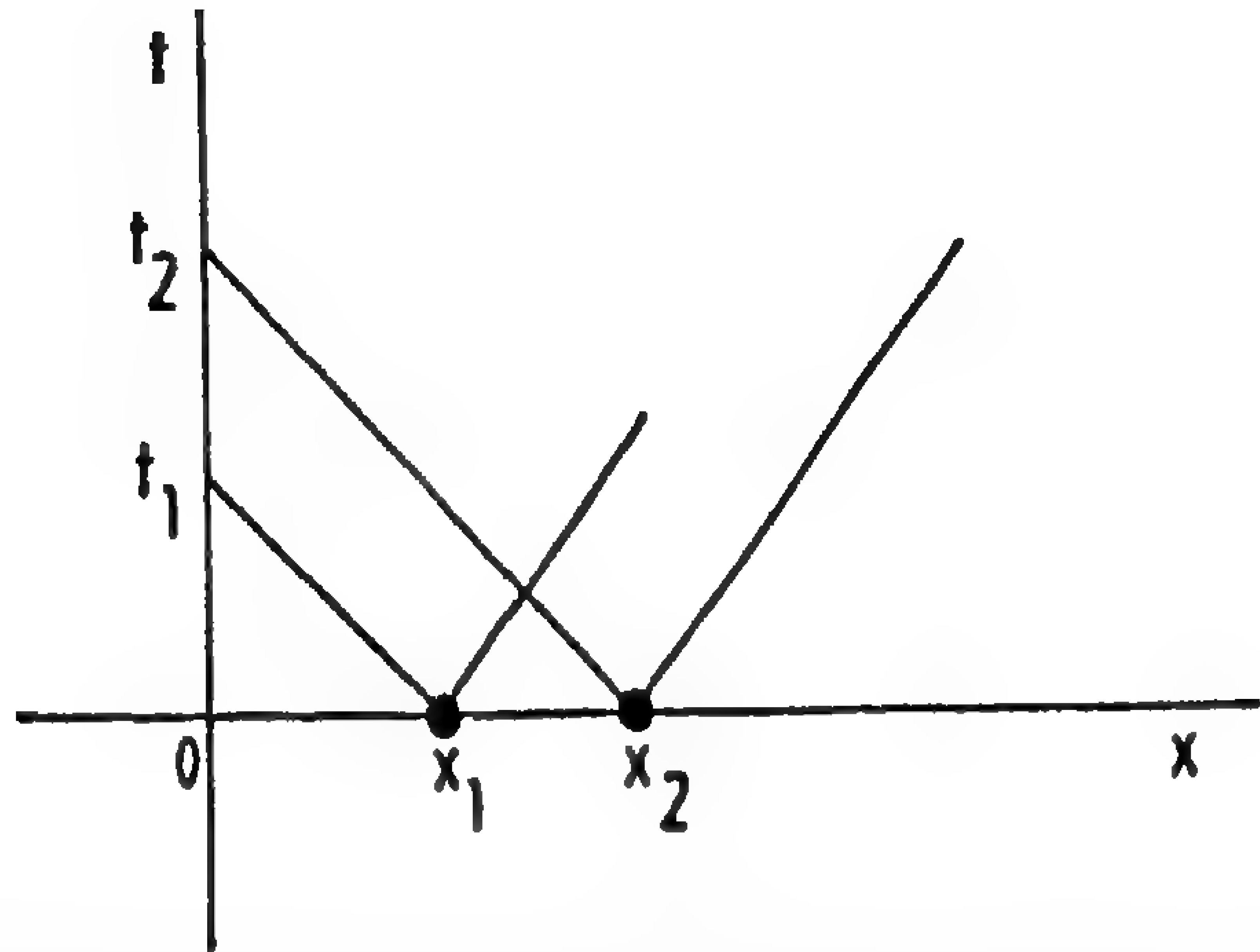
الشكل م 2.I ـ توزع إتفاقي مختلف لإحدى التجزيئات X_n في الشكل السابق.

ومنذ فترة قريبة جداً بيّن ميسرا[5] أن مفهوم الزمن الداخلي يطبق أيضاً على صف آخر مختلف تماماً من الأشياء مثل الحقول. ولنأخذ على سبيل المثال إنتشار الضوء. وعندها تكون لدينا المعادلة الموجية:

$$\frac{\partial_2 \Psi}{\partial t^2} = \frac{1}{c_2} \triangle \Psi \qquad (I.7)$$

وهي معادلة توافق إنتشار موجة ضوئية سعتها Ψ بسرعة c. ويصف التابع Ψ حقلاً (غير موجه) في كل نقطة من الزمكان. ومن المدهش أن حل هذه المعادلة يضعنا أمام مسألة مماثلة من منظور معين لمسألة الخباز. ولنأخذ في الحقيقة مراقباً ساكناً في النقطة O (أنظر الشكل م 3.1). إن الإشارة الضوئية الصادرة من النقطة x_1 تصلها في اللحظة t_1، والإشارة الصادرة من النقطة x_2 تصلها في اللحظة t_2. فمن الواضح أن المستقبل البعيد للمراقب سيحدد بما يحصل في اللحظة $t=0$ على مسافات متزايدة من النقطة التي يوجد فيها (إننا نحول ببساطة إلى كلام ما ندعوه بمسألة كوشي Cauchy من أجل حل المعادلة ذات المشتقات الجزئية I.7).

يجب إذن معرفة الشروط البدئية على كامل محور السينات (x) اللانهائي من أجل التنبؤ بما سيحصل من أجل t المنتهية إلى اللانهاية، كما علينا أن نعرف العدد



الشكل م 3.I ـ الإشارات المتلقاة في t_1، t_2 . . . تتأتى من النقاط x_1,x_2 . . . البعيدة أكثر فأكثر عن المبدأ.

اللانهائي للعشريات التي تصف نقطة في حالة تحول الخباز. وهنا أيضاً فإننا لا نملك سوى نافذة ضيقة ومنتهية مهما كبرت. وينتج عن ذلك كما بين ميسرا لاإستقرارية مماثلة للاإستقرارية الخباز (سنجد K ـ دفقاً، أنظر الفصل الخامس).

وإحدى نتائج هذه اللاإستقرارية أننا نستطيع هنا أيضاً تعريف زمن داخلي T. وتكون قيمته الوسطية مأخوذة على الحقل معطاة كما في I.5 و I.6 بـ:

$$\langle T \rangle_{\psi_t} = \langle \psi_t, T\psi_t \rangle = \langle T \rangle_{\psi_0} + t \qquad (I.8)$$

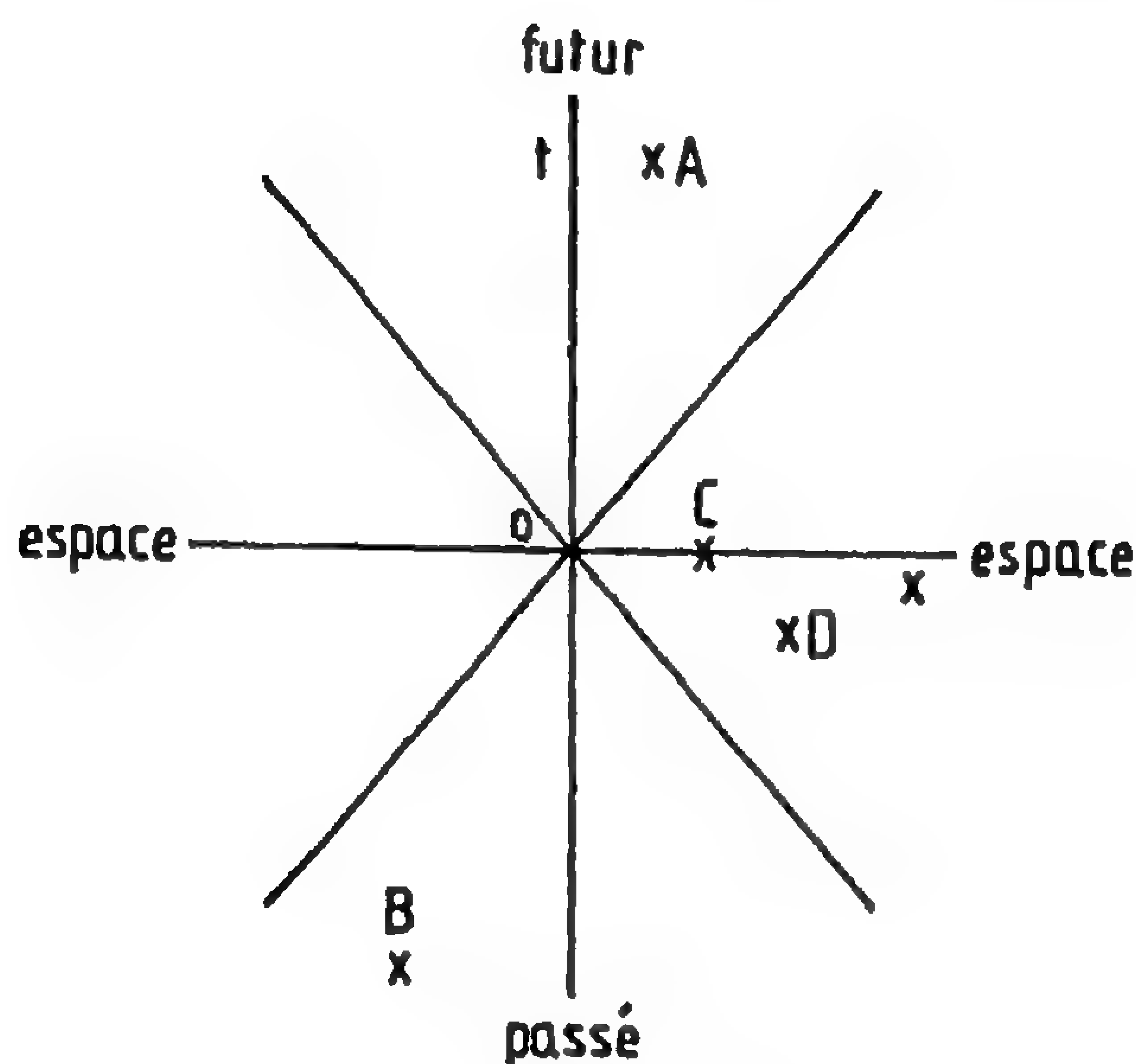
لنبيِّن الآن أن وجود هذا الزمن الداخلي مقترناً بالحقل يغير بشكل جذري خصائص الزمكان(6)(7):

لنضع أنفسنا في إطار النسبية الخاصة. فكما كنا قد ذكرنا في الفصل السابع يلعب الفاصل الزمكاني S_{12}^2 المعطى بالعلاقة:

$$S_{12}^2 = c^2(t_2-t_1)^2 - (x_2-x_1)^2 - (y_2-y_1)^2 - (z_2-z_1)^2 \qquad (I.9)$$

دوراً أساسياً فيها. ويشير مخطط، (أنظر الشكل م 4.1)، يُطرح في كل الكتب التي تبحث في هذه المسائل، إلى «تصنيف» الأحداث الزمكانية التي تنتج عن الفاصل (I.9). إن مخروط الضوء $\pm ct=x$ يحدد المناطق «السببية». فمن أجل كل مراقب ساكن ينتمي الحادث A إلى مستقبل O، والحادث B إلى ماضي O (حيث الفاصل S_{AO} أو S_{BO} هو فاصل «زمني»). وعلى العكس فإن C لا تتزامن مع

O إلاَّ من أجل خيار خاص للمرجع (الفاصل S_{CO} فاصل «مكاني»). فإذا غيرنا المرجع يمكن لـ C أن تصبح سابقة أو لاحقة لـ O. والأمر نفسه ينطبق على D التي تسبق O في الخيار الخاص الممثل هنا.



الشكل م4.1 ـ تصنيف للأحداث الزمكانية.
المخروط السببي الذي يحدد المناطق السببية (حيث تكون الأحداث منظمة زمنياً) محدود بالمستقيمين: $ct=x$ و $-ct=x$.

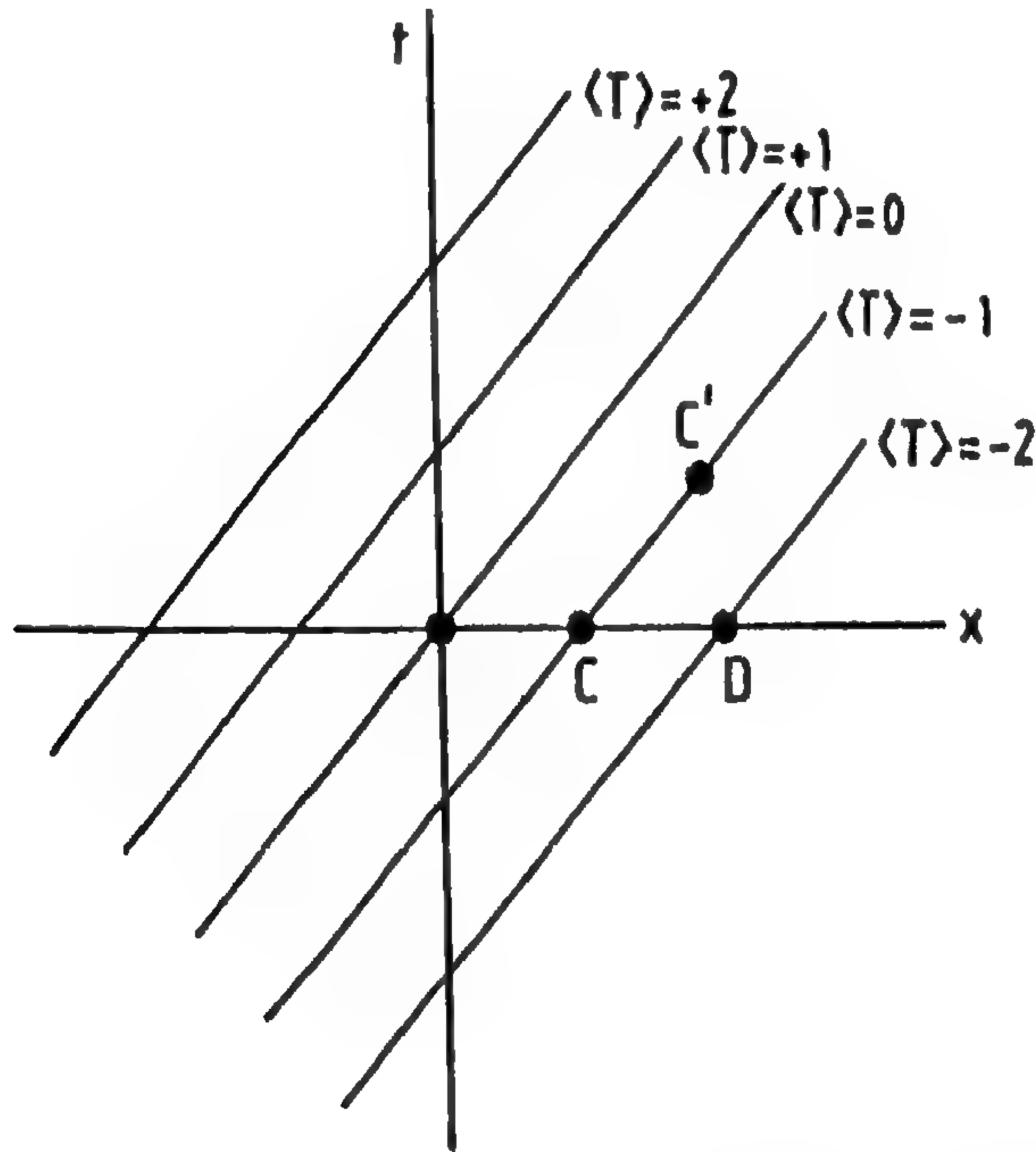
وهكذا يصبح مفهوم التزامن متعلقاً بالمراقب. إنه مثال على الأزمنة «المتعددة» للنسبية الخاصة.

ولنرَ كيف تتغير الأشياء إذا أخذنا بعين الإعتبار أن كل مراقب يمكن أن يقيس الحقل اللاموجه Ψ وأن يستنتج منه الزمن المتوسط <T> الموافق لهذا الحقل.

إن الحقل نفسه هو لورانتزي Lorentz ثابت (أي أنه ثابت بالنسبة للتحولات التي تجعل I.9 ثابتة). لكن الزمن الداخلي المتوسط <T> لا يتغير فقط عندما نغير الزمن، كما تشير إلى ذلك العلاقة (I.8)، بل وعندما نغير الموضع أيضاً، كما أن مشهداً ما يتغير عندما ينظر إليه من نقاط رصد مختلفة. وهذا يعني أن المراقب برصده للحقل ولزمنه الداخلي المتوسط فإنه يمكن أن يحصل على معلومة فيما

يخص موضعه على عكس ما تفترضه النسبية الخاصة. ومع ذلك فإن الزمن الداخلي يزداد في كل نقطة مع الزمن t بحيث أنه يبقى ضمن المسافة (I.9).

ويعطي الشكل (م5.1) مثالاً على توزع الأزمنة المتوسطة في الزمكان. ويمثل هذا الشكل، من أجل حقل معطى، «خطوط» العمر، أي أماكن النقاط التي لها الزمن الداخلي المتوسط نفسه. وكما يمكننا أن نلاحظ فإن خطوط العمر توازي مخروط الضوء المعرف بـ ct=x. وهكذا فإن مراقباً ينتقل بالسرعة نفسها لسرعة انتشار الحقل الذي يرصده، والحالة هذه بسرعة الضوء، سيعزو بالتالي دائماً الزمن الداخلي المتوسط نفسه للحقل الذي يراقبه. ومن جهة أخرى، فإن العمر الوسطي يتناقص باتجاه اليمين، في حين أن المخروط السببي في الشكل (م 4.1) كان متناظراً تماماً بالنسبة لمحور السينات x. وبالتالي يكون تناظر الزمكان النسبي مكسوراً. كانت الصورة (م 4.1) تمثل تصنيف الأحداث الزمكانية كما تعرفها النسبية. أما إذا أخذنا الحادثين C و D في الشكلين (م4.1 و م5.1) فقد كانا خارج المخروط السببي للشكل الأسبق. وهذا يعني أنه لم يكن بالإمكان أن يُسند لهما



الشكل م5.1 ـ مثال على توزع للأزمنة الداخلية المتوسطة.
العمر المتوسط يتناقص باتجاه اليمين. وخطوط العمر المساوي متوازية مع ct=x. الواحدات إتفاقية.

نظام زمني وحيد من أجل أي مرجع. وبالمقابل، فإن الشكل (م 5.1) يسمح بتنظيمهما بطريقة متماثلة لأنه:

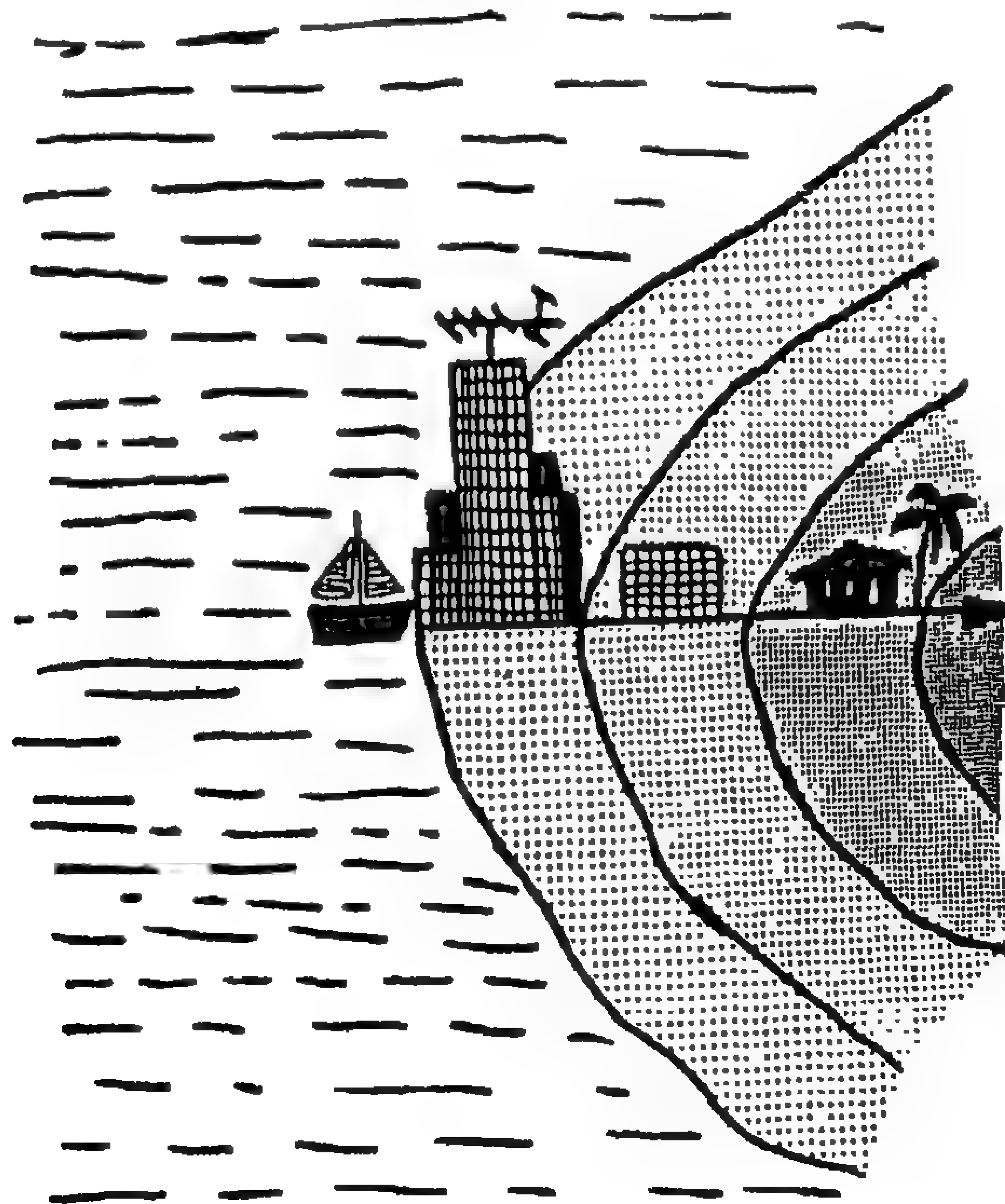
$$\langle T\rangle_C > \langle T\rangle_D \quad (I.10)$$

فالعمر الوسطي الذي ينسبه المراقب C للحقل أكبر من العمر الذي ينسبه المراقب D لهذا الحقل. المراقب C يرى عالماً لحجر وكبر زيادة. وهذه المتتالية هي لورانتزي ـ ثابت. وبالمثل فإن شرط التزامن:

$$\langle T\rangle_C = \langle T\rangle_{C'} \quad (I.11)$$

هو لورانتزي ـ ثابت. فكل المراقبين الواقعين على خط العمر نفسه، أياً كانت منظومة إسنادهم، ينسبون العمر الوسطي نفسه <T> للحقل.

ويعكس ما يبدو أنه ينتج عن النسبية الخاصة ثمة إذن زمن كوني ينطلق من مراقبة ظاهرة فيزيائية نسبية هي انتشار الموجة هنا. في وصف مينكوفسكي ينظر المراقبان بعضهما بعضاً بالتبادل. وهنا فإنهما يرصدان إضافة إلى ذلك تطور



الشكل م6.1 ـ إن مراقبة «موجة التمدن» تسمح بكسر تجانس زمكان الجزيرة

الحقل، المنظومة الديناميكية غير المستقرة التي تسمح بإدخال زمن داخلي.

ومن أجل أن نتمثل جيداً ما يحدث قد يكون من الممتع وضع الشكل (م5.1) فوق تمثيل لجزيرة يتألف محيطها من فنادق حديثة إلَّا أن داخلها يشتمل على بيوت سلفية بسيطة (الشكل م 6.1). فمن الطبيعي أن يكون تقدير المتتالية الزمنية هو نفسه من أجل جميع المراقبين.

وهكذا فإن إدخال السيرورات الديناميكية غير المستقرة يسمح بتوفيق فكرة أينشتاين الأساسية لعدة أزمنة مرتبطة بمراقبين مختلفين مع وجود صيرورة كونية دافع عنها برغسون.

الملحق الثاني

اللاعكوسية الجوهرية

أدخلنا في الفصل السادس مفهوم اللاعكوسية الجوهرية لنميز الظاهرات التي يمكن أن تكون لاعكوسيتها الظاهرة ناجمة عن مراقبتنا (وتوافق مذاك تقليص الحزمة الموجية) والظاهرات ذات اللاعكوسية الأصيلة والتي تتطلب وصفاً مختلفاً.

وقد ناقشنا على سبيل المثال مسألة إصدار الإشعاع عند انتقالات الكترون من مدار لآخر. ولهذه المسألة بالتأكيد مسألة كلاسيكية مشابهة[1]. فكل جسيم مشحون ومسرَّع يشع، وهذا الإشعاع ينتج بدوره كبحاً للإشعاع. وهذا المثال هو الذي سنعمقه لأنه يصور بشكل جيد مفهوم اللاعكوسية الجوهرية على المستوى الصغري.

لنتفحص أولاً كيف تطرح مسألة التفاعل بين جسيم مادي وشحنة كهرمغنطيسية[1][2].

إن جسيماً ما يوصف بالهاملتوني H. فإذا كان جسيماً حراً يكون ببساطة $H_p=p^2/2m$. أما إذا كان نواسياً فيكون لدينا:

$$H_p=p^2/2m+\frac{m\omega_0^2}{2}q^2 \qquad (I1.1)$$

حيث ω_0 هو تواتر النواس. ومن جهة أخرى يمكن وصف حقل حر بمجموعة

من النواسات[1] وبهاملتوني H_{ch} هو مجموع الهاملتونات الموافقة لها:

$$H_{ch} = \sum_i \frac{1}{2} (p_i^2 + \omega_i^2 q_i^2) \qquad (II.2)$$

فإذا كان الجسيم مشحوناً ينشأ تزاوج بين الجسيم ونوسانات الحقل[1]. وتتخلق عندها «غمامة استقطاب» حول الجسيم. فإذا كان الجسيم في وضع السكون (أو في حركة منتظمة) فإن هذا الاستقطاب يقود إلى طاقة إضافية يمكن أن تُمتص في كتلة الجسيم. وذلكم مثال على عملية التسوية التي ذكرناها في الفصل السادس (إذا كانت تبدو لانهائية في حالة جسيم نقطي فأمر لا أهمية له هنا). وفي حالة النواس يصبح الوضع أكثر تعقيداً، إذ سيكون لدينا «طنين» بين الجسيم وأنماط الحقل من أجل $\omega_1 = \omega_0$. ويمكن تطبيق مبرهنة بوانكاريه (أنظر الفصل الخامس) ويمكننا حتى توقع سلوك حركي في الحالة التي يصبح فيها الإطار الذي نضع فيه الجسيم كبيراً (عندها يصبح حاصل II.2 تكاملاً).

لدينا هنا مثال على التغير الجذري الذي يشهده اليوم التمييز بين ما هو بسيط وما هو معقد (أنظر الفصل الرابع). إن خصائص جسيم تتعلق عبر الحقل بعدد لانهائي من المتحولات ويصبح تعقيد حركته مماثلاً لحركة غاز أو سائل مكون من عدد هائل من الجسيمات.

ويمكن تمثيل أثر الطنين بحسابات على الحاسوب[3]. وبإمكاننا تتبع طاقة النواس المادي على مر الزمن. وتدخل النظرية الكلاسيكية[1][2] زمناً مميزاً للكبح $1/\gamma$، مع

$$\gamma = \frac{2}{3} \frac{e^2}{mc^3} \omega_0^2 \qquad (II.3)$$

حيث γ لا تتعلق، باستثناء كتلة النواس وتواتره، إلاّ بالثابتين الكونيين e و c.

وكما في النظرية الكمومية، فإن هذا الزمن $1/\gamma$ طويل جداً بالنسبة للتواتر ω_0 للنواس. فإذا أدخلنا كما في الفصل الرابع العلاقة بين الزمن «العكوس» $(1/\omega_0)$ والزمن اللاعكوس $(1/\gamma)$ نجد من أجل إلكترون ($\omega_0 10^{14} \sec^{-1}$).

$$\rho = \gamma/\omega_0 \approx 10^5/10^{14} \simeq 10^{-9} \qquad (II.4)$$

لكن الحسابات بالحاسوب (التي بنيت على نموذج ذي بعد مكاني واحد)

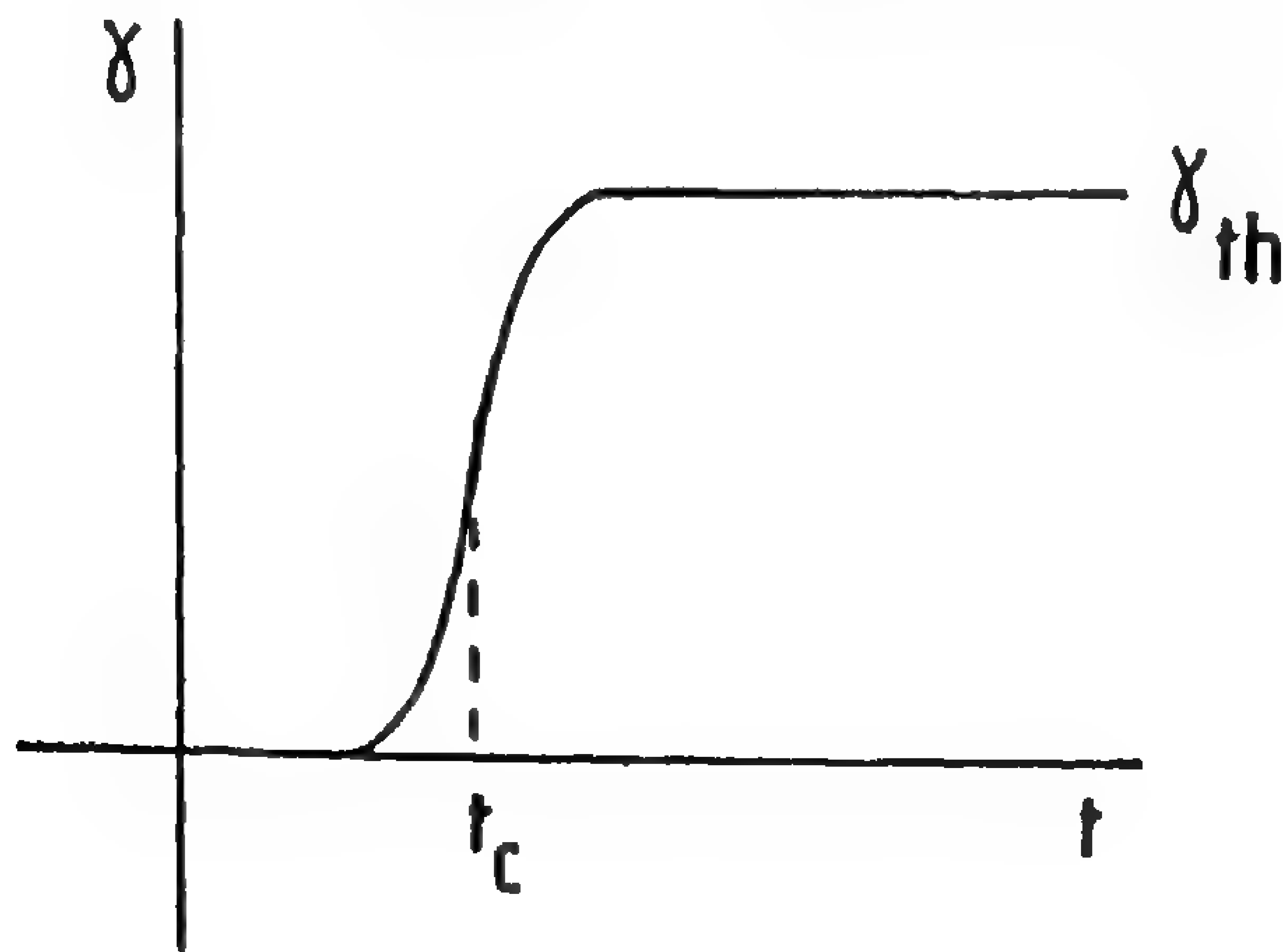
تسمح لنا .بتوسيع آثار كبح الإشعاع بأن نختار تحديداً قيماً أخرى بالنسبة للثابتين الكونيين e و c.

إن النظرية الكلاسيكية تقودنا إلى التنبؤ بأننا نراقب تراجعاً أسياً لطاقة النواس.

$$E_t = E_0\, e^{-\gamma t} \qquad \text{(II.5)}$$

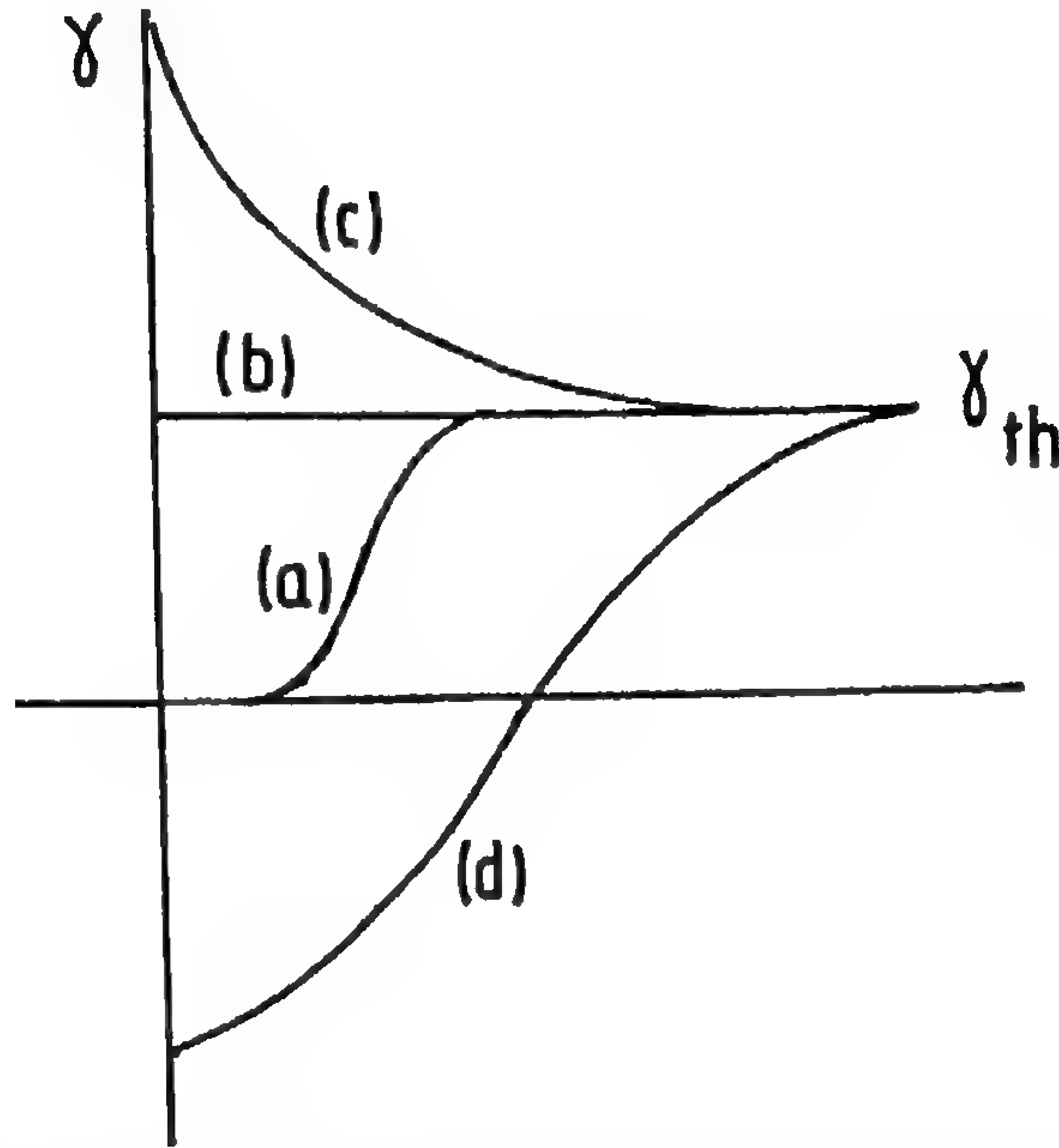
والعجيب أن الحسابات تظهر سلوكاً مختلفاً، يتعلق بشكل أساسي وحاسم بالشروط البدئية. فإذا انطلقنا من الجسيم «العادي» (أي إذا لم يكن أي نواس محرض في الحقل، $p_1=q_1=0$ من أجل $t=0$)، فإننا نجد النتيجة الممثلة تخطيطياً على الشكل (م 1.2).

فمن أجل زمن t_c فقط من رتبة عشر فترات إنما يبدأ التخامد بالاستقرار ويبدأ النواس بالإشعاع. وعندها فإنه يبلغ بسرعة قيمته النظرية (II.3). لكن هذا السلوك ليس كونياً وعاماً. فهو يتعلق بالشروط البدئية. ومع ذلك، وأياً كانت هذه الشروط البدئية فإننا نصل بعد مضي فترة معينة إلى القيمة نفسها γ_{th} (م2.2). ويوافق الوضع (a) الممثل على هذا الشكل النتيجة التي سبق وأعطيت على الشكل (م1.2). وفي الحالة (b) ننطلق «مباشرة» من القيمة الصحيحة للكبح. وفي الحالة (c) يشع النواس في البداية «أكثر» ممّا تتنبأ به النظرية الكلاسيكية. وفي الحالة (d) يبدأ «بامتصاص» الطاقة قبل أن يبدأ بالإشعاع.



الشكل م1.2 ـ مماثلة لكبح إشعاع نواس مشحون[3]. توافق الشروط البدئية جسيماً «عارياً» الواحدات إتفاقية.

ويفاجئنا التشابه مع الشكل 16 المتعلق بسلوك غاز. فالتابع $\mathscr{H}$ يميل هو أيضاً نحو قيمة توازنه مهما كانت الشروط الإبتدائية. والوضعية (d) في الشكل (م2.2) مشابهة لتجربة عكس السرعات في الشكل 17. وخلال فترة معينة تتباعد المنظومة عن التوازن طالما أن النوسان يتحرض ذاتياً (كما لو كان النواس يرجع باتجاه ماضيه).



الشكل م2.2 ـ مماثلة لكبح إشعاع من أجل شروط بدئية مختلفة[3]. الواحدات إتفاقية.

لكن الأمر الأساسي هو أننا نبلغ، بشكل مستقل عن تحضيرنا الإبتدائي، النظام نفسه بعد مرور زمن معيّن. وهكذا فإن المنظومة تفلت من سيطرتنا. تماماً كما أننا لا نستطيع، بالتوافق مع المبدأ الثاني. منع القياس $\mathscr{H}$ من بلوغ قيمة توازنه. فأي مثال أفضل على اللاعكوسية الجوهرية، وذلك في المجال الصغري لأننا لم نستدعِ هنا سوى القوانين الأساسية التي تربط المادة والإشعاع.

فما الذي يحدث في الفاصل الزمني قبل أن تبلغ γ قيمة سرعتها γ_{th}؟ إنما خلال هذا الفاصل الزمني يتشكل «تجهيز اللاتوازن». إن الفرق الأساسي بين هذا التجهيز وتجهيز التوازن لجسيم مستقر، معرف بعملية التسوية المعتادة، هو تموضع الطاقة للنماذج العادية في منطقة التواترات حول الطنين (فلكل «موضعة» في فضاء أطوال الموجة توافق لا موضعة في الفضاء).

يمكننا أن نفهم في هذا المثال الفرق بين تحوّل موحد يقود إلى متحوّلات في الزوايا والحركة والتحوّل غير الموحّد الذي ذكرناه عدة مرات في الفصلين الخامس والسادس. ففي الحالة الأولى نمر من الجسيم المستقر «العاري» إلى الجسيم «المجهز» بنماذج الحقل، وفي الحالة الثانية نمر من الجسيم «العاري» إلى الجسيم «المجهز» مع لباسها وتجهيزها من اللاتوازن الذي يسمح للإشعاع بالإفلات. ودليل ذلك هو أننا إذا أجرينا أولاً التحوّل اللاموحد، أي إذا إنطلقنا ليس من جسيمات عارية بل من جسيمات مع تجهيزها من اللاتوازن، فإننا سنحصل على المنحني (b) في الشكل(م 2.2) الذي يكون لـ γ آنياً فيه (بحسب دقة الحاسوب) قيمتها γ_{th}.

وحركة الكبح هذه للإشعاع ليست متوافقة مع وصف بمصطلحات المسارات، والتي يكون فيها ثمة علاقة تقابل نظيرية بين الحالة الإبتدائية والحالة النهائية. إن وجود الطنين يدخل، كما في الفصل الخامس، أفقاً زمنياً ويقودنا إلى فقدان السيطرة على المسارات. إنه يقود المنظومة إلى نظام حركي (مشابه لنظام الحركة البراونية أو لمعادلة بولتزمان الحركية).

وتمتد هذه الإعتبارات على الحالة الكمومية، إذ إننا هنا أيضاً نتوقع أن يفقدنا الطنين السيطرة على التابع الموجي وأن يقودنا إلى نمط سلوك كمومي «حركي» كما وصفناه في الفصل السادس. يجب أن نشير من جهة أخرى إلى التشابه بين التأخير الذي يظهره النواس في الإشعاع عندما ننطلق من الجسيم العاري (شكل م1.2) وتناقض زينون الذي عرضناه في الفصل السادس.

الملحق الثالث

أصل الكون: فردانية أم لاإستقرارية؟

إن السحر الذي تمارسه علينا مسألة أصل الكون تحرضنا على العودة إلى المسألة التي طرحناها في الفصل السابع من هذا الكتاب: هل يجب أن نقرن بهذا الأصل خصوصية (فردانية، مثل البيغ بانغ) أو لاإستقرارية؟ لقد وصفنا محاولة حديثة تتضمن إنتاج المادة بما هي سيرورة لاعكوسة. وإنتاج المادة هذا يفضي إلى لاإستقرارية تقود مع توسعها إلى الكون الحالي. ونود أن نعود هنا إلى هذه المسائل مع التأكيد على جانبها الترموديناميكي وأن نحدد ماذا تعني بالضبط اللاإستقرارية

البنيوية للإنفجار الكبير التي سبق وذكرناها في الفصل السابع[1].

لنذكر أولاً باختصار بالأفكار الأساسية لعلم الكونيات التقليدي (النموذج المعيار)[2]. فهذا العلم مؤسس على المعادلة الأساسية للنسبية العامة، التي تربط الموتر المتري وموتر التحريض ـ الطاقة. وفي أبسط الحالات، حالة كون موحّد الخواص في جميع الاتجاهات، ومتجانس ولا إنحناء مكاني له، نحصل كذا على المترية[2]:

(III.1) $$ds^2=dt^2-R^2(t)\,(dx^2+dy^2+dz^2)$$

والاختلاف الوحيد مع مترية مينكوفسكي هو ظهور «نصف قطر» للكون R(t). ويلعب تابع هبل دوراً هاماً جداً:

(III.2) $$H=R/\dot{R}$$

حيث تشير النقطة إلى مشتق بالنسبة للزمن.

وفي هذه الحالة تعطي معادلة اينشتاين الصلة بين كثافة الطاقة ρ ونصف قطر الكون R:

(III.3) $$K\rho=3H^2$$

مع: $K=8\pi G/c^4$ (III.4)

حيث G ثابت التثاقل الكوني و c سرعة الضوء.

لقد رأينا أن معادلة أينشتاين تتنبأ بتطور ثابت الحرارة للكون. فلدينا إذن:

(III.5) $$dE+\rho dV=0$$

أو إذا أخذنا عنصر حجم متناسب مع R^3:

(III.6) $$d\rho R^3+\rho dR^3=0$$

وفي الحالة البسيطة التي تكون فيها المادة «غير متجانسة»، أي حيث يكون المحتوى المادي للكون متميزاً بضغط p معدوم، فإن (III.6) تختصر إلى:

(III.7) $$\rho R^3=\text{ثابت}$$

وبتعويض هذه العلاقة في (III.3) نحصل على معادلة من أجل نصف القطر R(t):

ويبيّن حلها أن التوسّع ينطلق من نقطة فريدة $R=0$ (الإنفجار الكبير).

في علم الكونيات التقليدي ليس ثمة خلق للمادة. ومذاك فلدينا أيضاً (أنظر III.7)، حيث n هي كثافة الجسيمات:

(III.8) $nR^3=$ثابت

لقد ألمحنا عدة مرات قبل الآن إلى كون «دوسيتر». إنه كون مميّز، تكون فيه كل قيم المتحولات الترموديناميكية التكثيفية مثل ρ، p، n ثابتة في الزمن. وتبيّن لنا المعادلة (III.6) أن الأمر لا يمكن أن يكون على هذا النحو إلاّ إذا كان:

(III.9) $\rho+p=0$

الأمر الذي يقتضي $p<0$ من أجل $\rho>0$، وهو وضع عجيب لأن الضغط موجب بشكل طبيعي. فإذا قبلنا (III.9) تعطينا (III.2):

(III.10) $H=\pm\sqrt{K\rho/3}$ أو $R=R_0\, e^{\pm\sqrt{K\rho/3}\,t}$

فكون دوسيتر هو كون متمدد (أو متقلص) أسياً. وتكمن الصعوبة أنه من أجل التحقق من (III.9) يجب علينا إدخال ثابت كوني في معادلة أينشتاين في حين أن مراقبة الكون الحالي لا تكشف عن أي أثر لمثل هذا الثابت.

نريد الآن تعديل المعادلة الترموديناميكية (III.5)، أو (III.6) بأن نأخذ بعين الإعتبار خلق المادة. ويتأتّى ذلك بإضافة حد «لمصدر الطاقة الداخلية». وتبين حجج أولية[3]،[4]،[5] أن المعادلة الجديدة هي:

(III.11) $d\rho R^3+p\,dR^3-h/n\, dnR^3=0.$

(III.12) حيث n هي تابع الحرارة $h=\rho+p$: enthlpie

ولنشر إلى أننا لا نطرح أية فرضية حول الأصل الصغري لهذا الحد. وكما أشرنا في الفصل السابع يمكن أن يكون مرتبطاً بطاقة تثاقلية سالبة تتحول إلى طاقة موجبة للمادة.

ويمكننا أيضاً أن نكتب (III.11) بالشكل:

(III.13) $d(\rho R^3)+(P+P_{cr})\,dR^3=0$

(III.14) مع $P_{cr}=-h/n\, dnR^3/dR^3=-h/3nH\,(\dot{n}+3nH)$

يقود إذن تضمين خلق المادة إلى «ضغط إضافي Pcr. ومن المهم أن نلاحظ أن $\dot{n}=0$ في حالة كون دوسيتر ويكون لدينا ببساطة:

$$p_{cr}=-h \qquad \text{(III.15)}$$

ومن أجل حساب إنتاج الإنتروبيا ننطلق كما هو الحال دائماً في الترموديناميكا الكبرية من التفاضل الكلي للإنتروبيا (ذي المركب الوحيد):

$$TdS=dE+pdV-\mu dN \qquad \text{(III.16)}$$

حيث μ هو الكمون الكيميائي لكل جسيم.

$$\mu n=h-Ts \qquad \text{(III.17)}$$

ومع الأخذ بعين الاعتبار للحد الإضافي الذي يرجع إلى خلق الجسيمات (أنظر 11.III) والذي يجعل من الكون منظومة ترموديناميكية مفتوحة، فإننا نحصل كتعبير عن المبدأ الثاني:

$$d_iS=s/n\ d(nR^3)\geqslant 0 \qquad \text{(III.18)}$$

ولنشر إلى أن تغير الإنتروبيا dS يختصر هنا إلى إنتاج الإنتروبيا diS وذلك أنه ليس ثمة في كون موحد الخواص ومتجانس دفق إنتروبي.

تعبر المتراجحة (III.18) عن أن خلق الجسيمات هو صيرورة «لاعكوسة». فالزمكان يمكن أن يخلق المادة لكن العكس ليس صحيحاً. ويمكن تبسيط هذه اللامساواة بالشكل:

$$\dot{n}+3Hn\geqslant 0 \qquad \text{(III.19)}$$

وهي تسمح بإيجاد صلة بين خلق المادة ($\dot{n}$) وتابع هبل. وبخاصة من أجل كون دوسيتر، حيث $\dot{n}=0$ ونحصل بالتالي على:

$$H\geqslant 0 \qquad \text{(III.20)}$$

وبالمقارنة مع (III.10) نجد أن كون دوسيتر «المتمدد» هو الوحيد الممكن ترموديناميكياً.

والآن أصبح بالإمكان مد معادلة أينشتاين لتشمل خلق المادة: فيكفي أن نبدل في موتر التحريض ـ الطاقة الضغط p بالحاصل $p+p_{cr}$. ولذلك نتائج كثيرة. ففي حالة كون دوسيتر تختفي الصعوبة المقترنة بمعادلة الحالة (III.9) طالما أننا نجد الآن (أنظر (III.15):

$$\rho+p+p_{cr}=0 \text{ أو } \rho+p=h \qquad (III.21)$$

ويصبح كون دوسيتر متوافقاً مع معادلة حالة «عادية» ذات «ضغط موجب».

فلننظر الآن كيف ندخل «اللاإستقرارية البنيوية» لـلإنفجار الكبير. ومن أجل ذلك علينا أن نحدد حركيـة خلق المادة. والمعـادلة الحـركية الأبسط المتـوافقة مـع المتراحجة (III.18) هي:

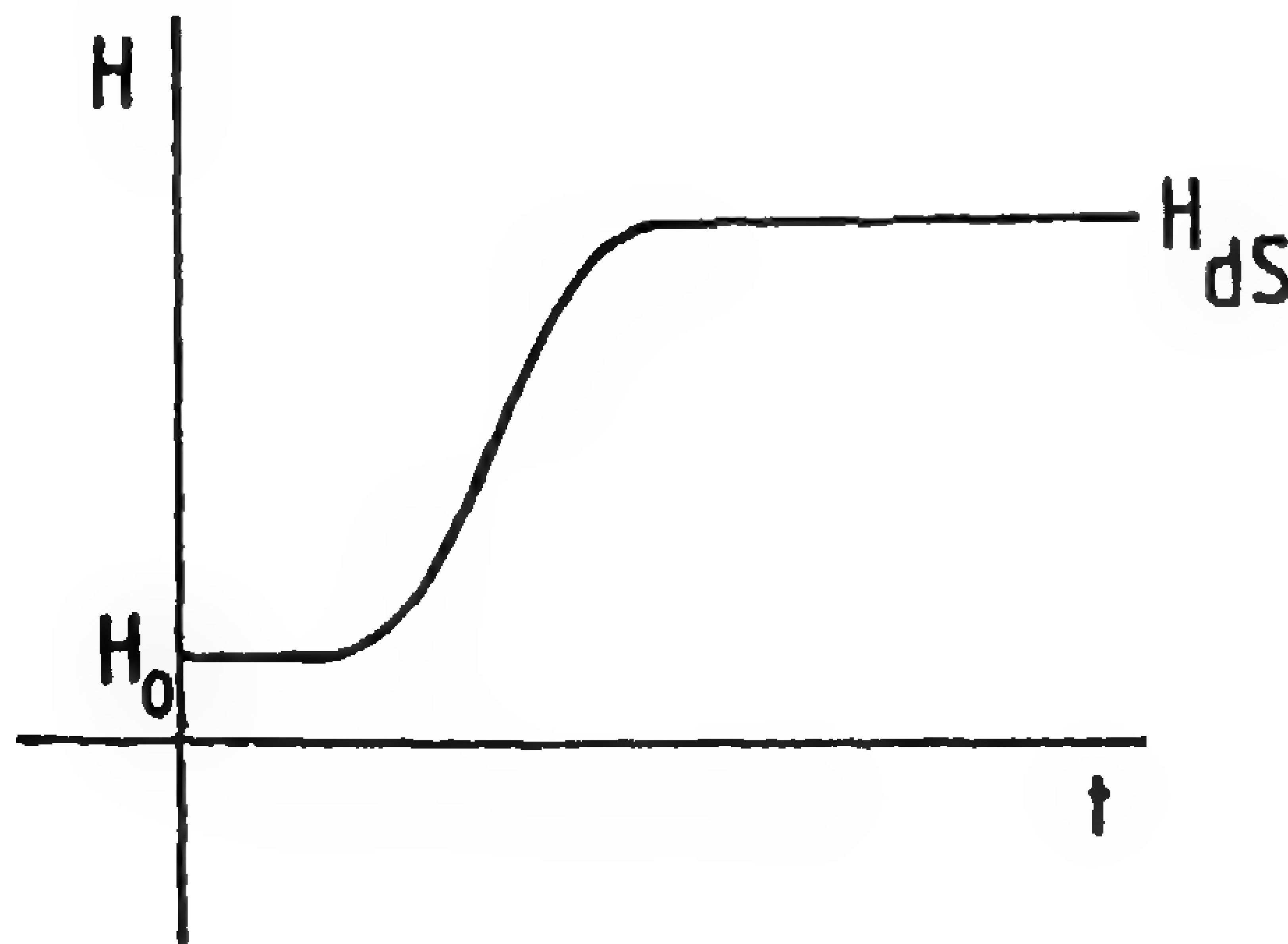
$$1/R^3\, dnR^3/dt=\alpha H^2 \qquad (III.22)$$

وتلعب هـذه المعادلـة هنا الـدور نفسه الـذي تلعبه معـادلات فوريـيه أو فيـك Fick بالنسبة لظاهرات النقل. فهي تربط خلق المادة بمربـع تابـع هبل. ومن أجـل $\alpha=0$ نجد النموذج المعيار.

وكمـا سنبين، من أجل $\alpha\neq0$ ومهمـا كـان صغيـراً، فـإن حـالـة الخصـوصيـة (الإنفجار الكبير) تعوض بحالـة لاإستقراريـة. وبهذا المعنى يكـون الإنفجار الكبيـر لامستقراً بنيوياً كما هو الحال بالنسبة لنواس يخل بحركته أي إحتكاك (أنظر الفصـل الرابع).

لنفرض أن كثافة الطاقة ترجع لوجـود جسيمات ذات كتلة ثـابتة M، وبـالتالي يكون:

$$\rho=Mn \qquad (III.23)$$



الشكل م1.3 ـ تطـور«تابع هبل» إثر لاإستقرارية تسند له القيمة Ho،نحو قيمته«السكونية «الدوسيترية» Hds. «الواحدات إتفاقية.

ولكي نحصل على علمنا الكوني «غير التقليدي» فإننا ندمج (III.3) و (III.22) و (III.23). ويقود ذلك فوراً للحل:

$$(nR^3)_t = (nR^3)_0 \ e^{\frac{kM}{3}\alpha t} \qquad \text{(III.24)}$$

فخلق المادة يؤدي إلى لاإستقرارية.

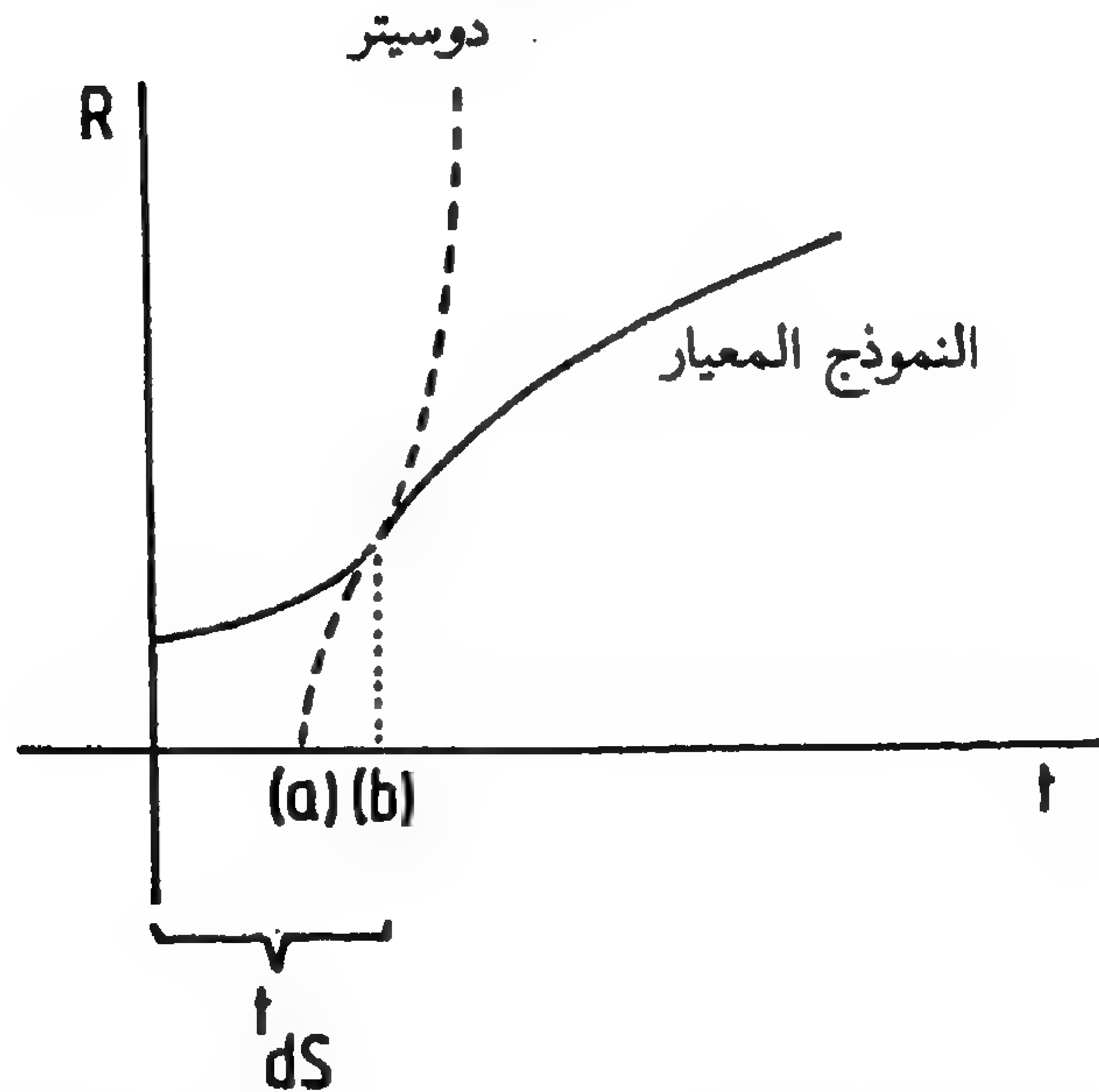
ويمكننا أن نحل بسهولة المعادلات من أجل n(t) و R(t) وأن نحسب هكذا تابع هبل. وقد بينت النتائج بشكل تخطيطي على الشكل (A - III.1). ومن المهم أن نحدد القيمة البدئية لـ H، H_o وقيمتها السكونية Hds:

$$H_0 = \sqrt{kMno/3} \qquad \text{(III.25)}$$

$$H_{ds} = kM\alpha/9 \qquad \text{(III.26)}$$

في الحالة السكونية نكون في كون دوسيتر المتمدد بشكل أسّي (أنظر III.10). ويتم بلوغ القيمة السكونية H_{ds} خلال الزمن:

$$t_{cr} = \frac{6}{\kappa M\alpha} \qquad \text{(III.27)}$$



الشكل م2.3 ـ إنتقال بين كون دوسيتر وكون النموذج المعيار. الخط المتصل يشير إلى التطورات الفيزيائية، والمنقط إلى استقطابها. (a) يوافق الانفجار الكبير غير المتحقق، و (b) الانتقال بين الكونين بعد زمن tds الذي هو فترة الوجود الفيزيائي للكون دو السيتري.

أما فيما يتعلق بتغير (n (t، فيمثل بانحناء مماثل لمنحني H (شكل م1.3، أنظر أيضاً شكل 23، الفصل السابع).

يلعب هكــذا كـون دوسيتـر دور «الجـاذب». فـأيـا كـانت قيمـة α، فـإن اللاإستقرارية تقود خـلال زمن معين t_{cr} إلى كون دوسيتـر. ولا نجد الشكـل الكوني التقليدي إلاّ من أجل α=0.

وما كان كون دوسيتر ليدوم إلى مالانهاية طالما أن كـافة المعـطيات تشيـر إلى أن الكون يوجد اليوم في مـرحلة توسّـع ثابت الحـرارة. فيجب إذن، كما أشـرنا في الفصل السابع، إدخال إنتقـال بين كون دوسيتـر وكون ثـابت الحرارة (أنـظر الشكل م2.3).

فإذا أعطينا أنفسنا تمثيلاً مثالياً للكون المعيـار، أي إذا اعتبرنـا أنه لا يحـوي سوى فوتونات (إشعاع) وباريونات، فـإنه يصبـح من السهل حسـاب.شروط الضم. وهكذا نحصل على كثـافتي طاقـة الإشعاع والمـادة في لحـظة ولادة الكـون ثـابت الحرارة:

(III.28) $$\rho_\gamma \approx 3/K H_{ds}^2$$

(III.29) $$\rho_m = 6/k\ H_{ds}^2, e^{-.H_{ds}\ t_{ds}}$$

إن الكون الثابت الحرارة يتطور إبتداء من هذه الشروط البدئية (أنظر من أجل تفصيل أكثر الهـامش 1). وبالـطبع فـإن ذلك من قبيـل الأمثلة لأنه في نقـطة الضم يشتمل الكون على عدد كبير من الجسيمات «الغريبة» التي اختفت اليوم.

وبالمقارنة مع (III.26) نلاحظ أن تفاصيل اللاإستقـرارية البـدئية (أي قيم n_o وR_o وH_o) قد اختفت. وتماماً كما في حـالة لاإستقـرارية كيميـائية تقـود إلى دور محدود، فإن تفـاصيل الخلل البـدئي لا تُؤخذ في الحسبـان. إن ثلاثـة ثـوابت من «الحقب السيتيـري» لا زالت موجـودة: الكتلة M للجسيمات المخلوقـة، و«سرعـة الخلق» α ومدة وجود كون دوسيتر tds.

إننا نرى الآن لماذا تسحرنا بشدة فـرضية الثقـوب السوداء الـدقيقة. فبفضلهـا تقلص عدد الثوابت التي تحـدد الكونيـة المعياريـة، وبالتـالي البنية التـرموديـنـاميكية للكون الحالي، إلى ثابت واحد هو الكتلة M للثقوب السـوداء الدقيقـة، وذلك أننـا نستطيع إبتداء من هذا الثابت حساب تـابع هبـل لكون دوسيتـر (وبالتـالي α ومدتـه

(t_{ds}). وأنـه لمن المدهش أنـه مع كتلة M من رتبـة خمسين مرة كتلة بـلانك فـإننـا نحصل على توافق جيد مع المعطيات الترموديناميكية الحالية.

والحـال أن هـذه القيمـة، كمـا رأينـا في الفصـل السـابـع، هي القيمـة التي استنتجها نظريـاً بروت Brout وإنغلرت Englert وغـونزيـغ Gunzig وغيرهم إبتـداء من محاولتهم المرتكزة على نظرية كمومية للحقل. وهذا التوافق غير متوقـع بقدر مـا لا نزال بعيدين عن نظرية موحدة مرضية تربط التثاقـل والنظريـة الكمومية. ولنشدد مرة أخرى على واقـع أن حججنا التي تقـود إلى تغيير لمعادلات أينشتاين بـإدخـال الضغط الإضـافي P_{cr}، هي حجج عيانيـة وبـالتالي مستقلة عن كـل نظريـة صغريـة لخلق المادة.

ـ هوامش الملاحق:

● الملحق الأول:

1 - H. Bergson, Durée et Simultanéité, in Mélanges, Paris, PUF. 1972.

2 - B. Misra, Proc. Nat. Ac. Sci, USA, vol.75. 1978, p.1626.

3 ـ من أجل تفصيل أكبر أنظر:

I. Prigogine, Physique, temps et devenir, Masson, 1980.

4 - I. Prigogine et I. Stengers, La nouvelle Alliance, op. cit. chapitre IX.

5 - B. Misra, J. Stat. phys., vol. 48, 1988, p.1295.

6 - I. Antoniou, Internal Time and Irreversibility of Relativistic Dynamical Systems, Thèse présentée à¼ l'Université libre de Bruxelles, 1988.

7 - B. Misra, I. Atonion et I. Prigogine, à paraître 1988.

● الملحق الثاني:

1 ـ راجع على سبيل المثال في مؤلفات الإلكتروديناميك:

L. Landau et E.Lifchitz, Théorie des champs, Moscou, éd. Mir, 1970; ou J.D.Jackson, Classical Electrodynamics, New York, J.Wiley et Sons, 2e éd, 1975.

2 - W. Heitler, The Quantum Theory of Radiation, New York, Dover Pub. 1984.

3 - T.Y. Petrosky, communication personnelle.

● الملحق الثالث:

1 ـ نتبع طرح كل من بريغوجين وغينيو وغونزيغ وناردون الذي ظهر (عام 1988).

2 ـ أنظر مؤلفات الكوزمولوجيا وبخاصة: مؤلف واينبرغ «الدقائق الثلاث الأولى من عمر الكون».

3 - I. Prigogine, Etude thermodinamique des phenomènes irrevérisbles, thèse d'agrégation, Liège, Desoer, 1947.

4 - P. Glansdorff, et I. Prigogine, Structure, stabilité et fluctuations, Paris, Masson, 1971.

5 - S. de Groot et P. Mazur, Non Equilibrum Thermodinamics, Amsterdam, North Holland Pub. Comp. 1962.

الهوامش والمراجع

ـ المقدمة :

(1) - I. Prigogine et I.Stengers, la Nouvelle Alliance, p.8.
ونعتمد هنا على طبعة عام 1986 المضاف إليها مقدمة وملحقان، والصادرة عن Gallimard, Folio Essais, Paris.

(2) - H. Bergson, L'Evolution créatrice, in Œuvres, Paris, PUF. 1970, p.534.

(3) - K. Popper, Quantum Theory and the Schisme in Physics, Totowa, New Jersey, Rowman and Littlefield, 1982, p.177.

(4) - E. Schrödinger, Ma conception du monde - Le Veda d'un physicien, coll. «Science et conscience», Paris, Mercure de France - Le Mail, 1982.

ـ الفصل الأول :

(1) - H. Bergson, Vocabulaire technique et critique de la philosophie, article «inconnaissable», cité par H. Gouhier dans son introduction aux œuvres de Bergson, Paris, PUF, 1970, p. XXIII.

(2) - H. Bergson, L'Evolution créatrice, in Œuvres, op. cit., p. 534.

(3) - H. Bergson, La pensée et le mouvant, in Œuvres, op. cit., p.1286.

(4) من أجل تفصيل أكثر أنظر الفصل الخامس، و«الميثاق الجديد»، ص 272 - 276.

(5) يرجع تعبير «سهم الزمن» إلى إدينغتون Eddington في The Nature of the Physical World (نشر عام 1928 وأعادت نشره بدءاً من عام 1958 The University of Michigan Press, Ann Arbor). ويتنبأ إدينغتون في هذا الكتاب المميز بأن المستقبل يمكن أن يشهد فعلاً نهاية تفوق

القوانين «الأولية» (التحديدية) في الفيزياء لصالح القوانين «الثانوية» (الإحصائية والتي تعطي معنى للاعكوسية الترموديناميكية).

(6) - H. Poincaré, in Comptes Rendus de l'Académie des sciences, vol. 108, Paris, 1889, p.550.

(7) يوجد نص بولتزمان هذا في إجابته الثانية على زرميلو E.Zermelo. وكان هذا الأخير قد استحضر ضد مبرهنة $\mathscr{H}$ «مبرهنة التكرار» التي ترجع لبوانكاريه، مبيناً أن تطور منظومة ديناميكية ستجعلها تمر دائماً بحالات قريبة بقدر ما نريد من حالتها الإبتدائية. وقد ذكر هذا النص بوبر في Unen-ded Quest, La Salle, III., Open Court Pub.; trad. francaise: La Quête inachevée, Paris, Calmann - Lévy, 1981.

(8) لقد بيّن نوربرت وينر Norbert Wiener أنه في كل حالة سببية لا نستطيع أن نتواصل مع كون سهم زمانه معاكس لسهم زماننا. فكل إشارة سيرسلها لنا ستبدو كسيرورة طبيعية غريبة سنفسرها إنطلاقاً ممّا هي في الحقيقة نتائجها. وهكذا لو رسم لنا مربع (في الرمل) فإننا سنرى بقايا هذا الشكل على أنها تباشيره، وسيبدو لنا المربع كتبلور مدهش وعجيب - يمكن تفسيره بشكل كامل - لهذه البقايا. وسيبدو لنا معناه «على أنه إتفاقي بقدر الصور التي نقرؤها في الجبال أو الصخور». (Cybernetics, 2[e] éd., Cambridge, Mass., The MIT Press, 1961, p.34.).

(9) يجب أن نشير منذ الآن إلى أن هذه الصورة الجديدة للفيزياء، مع تمييزها المميز بين النظريات «الأساسية» التي تستبعد سهم الزمن والنظريات «الظاهراتية فقط» التي تعطيه معنى، قد قاومت ما دعاه برنار داسبانيا B. d'Espagnat اكتشاف الميكانيك الكمومي كون أن «الحقيقي» «محجوب». وهكذا فإن الميكانيك الكمومي بالنسبة لبرنار داسبانيا نفسه لا يدخلنا إلى «الحقيقي» لكنه يعطينا مع ذلك ترجمة مخلصة بدرجة كافية عنه لكي نأخذ على محمل الجد المعلومات السلبية التي يحملها لنا: أن «سهم الزمن» يشير إلى واقع تجريبي فقط.

- الفصل الثاني:

(1) Correspondance Leibniz - Clarke, éditée par A. Robinet, Paris, PUF. 1957.

(2) أنظر من أجل تحليل للمفهوم النيوتوني للقوة على أنها تعبير عن مبدأ حركة غير قابل للتبسيط في الميكانيك:
E. McMULLIN, Newton on Matter and Activity, Notre Dame, Indiana, University of Notre Dame Press, 1978.

(3) G. BRUNO, Cinquième dialogue, «De la causa», Opere Italiane, I, Bari, 1907, cité par I. LECLERC, The Nature of Physical Existence, Londres, George Allen and Unwin, 1972.

(4) M. JAMMER, The Philosophy of Quantum Mechanics, New York, Wiley - Interscience Pub., 1974, p. 120 - 121.

(5) W. HEISENBERG, Physics and Beyond, Encounters and Conversations, New York, Harper Torchbooks, 1972, p. 51.

(6) R. TAGORE, «The Nature of Reality», in Modern Review, vol. XLIX, Calcutta, 1931, p. 42 - 43.

(7) R. THOM, Préface à L'Essai philosophique sur les probabilités de Laplace, réédité dans la collection «Epistémè», Paris, Christian Bourgois, 1986, p. 22.

(8) Voir à ce sujet LEIBNIZ, Essais de Théodicée, Paris, Garnier - Flammarion, 1969, ainsi que le Discours de métaphysique et la Correspondance avec Arnauld, Vrin, 1970.

ـ الفصل الثالث:

(1) J. MONOD, Le Hasard et la Nécessité, Paris, Seuil, 1970, notamment p. 160 - 161.

(2) Nouvelle reprise dans Robot Dreams, New York, Berkley Books, 1986.

(3) M. MARESCHAL et E. KESTEMONT, «Experimental Evidence for Convective Rools in Finite Two - Dimensional Molecular Models, in Journal of Statistical Physics, vol. 48, 1987, p. 1187.

(4) Voir M. MALEK MANSOUR et C. VAN DEN BROECK, «Inhomogeneous, Fluctuations, in Reaction - Diffusion Systems», in Instabilities, Bifurcations, and Fluctuations in Chemical Systems, L. E. Reichl ed. at W.C. Schieve, Austin, University of Taxas Press, 1982.

(5) S. CHANDRASEKHAR, Hydrodynamic and Hydromagnetic Stability, Oxford, University Press, 1961. Voir aussi D. KONDEPUDI et G. NELSON, in Nature, vol. 314, 1985, p. 438.

(6) الأشكال مأخوذة عن تلك التي وضعها إبستين I.R. Epstein:
I. R. Epstein (in Chemical instabilities, ed. G. Nicolis et F. Baras, Dordrecht, D. Reidel Pub. Comp., 1983).

(7) A. BLOOM, L'Ane désarmée, Paris, Julliard, 1987.

ـ الفصل الرابع:

(1) B. MANDELBROT, Les Objets fractals, Paris, Flammarion, 1984.

(2) Voir S. LOVEJOY, in Science, vol. 216 - 1982, p. 185, et B. MANDELBROT, The Fractal Geometry of Nature, San Francisco, Freeman, 1982.

(3) يقترح برنار داسبانيا في «Empirical Reality, Empirical Causality and the Measurement Problem» (Foundations of Physics, vol. 17, p. 507 - 529, 1987) الحفاظ على علاقة مميزة بين ما يدعوه سببية ـ أو واقع ـ تجريبية والبينية الذاتية. ويكون المجال التجريبي هو الذي نسند فيه لمنظومة فيزيائية خصائص لا تأخذ معنى من وجهة نظر نظرياتنا الأساسية إلّا من خلال التقريب. فهذه الخصائص تتعلق إذن بواقع أن المواضيع تتوافق معها بحيث لا نأخذ بعين الاعتبار بعض التجارب التي تسمح، وهي ممكنة من حيث المبدأ، بتحريفها أو تزييفها. إن «محور الواقعية التجريبية»... «يحد من غش وتكلف القياسات التي أخذت بعين الإعتبار بالإسناد إن إلى قرار حر من جهتنا أو لحدود عملية لمواقف النوع البشري». إن مفهوم السلوك الهبائي، المميز بأفق زمني، يفلت مع ذلك من هذا التحليل. وفي الواقع فإنه لا يفرض أي حد على تكلف قياساتنا. ويمكن للأفق الزمني أن يتراجع، لكن لا يمكن أن ينعدم بقياسات متزايدة الدقة تفرضها النظرية. فهو يسمح إذن بأن نحل محل التوافق البيني الذاتي على حد يمكن تجاوزه ذهنياً مع ذلك التعرف على حد موحد بشكل جوهري لمفهوم القياس نفسه.

(4) كان قد درس هذا المثال جون ميلس JOHN MILES (Physica D 11, 1984, p. 309). وقد نشر في موضوع لايثيل:
J. LIGHTHILL, «The Recently Recognized Failure of Predictability in Newtonian Dynamics», in Procedings of the Royal Society, London, A 407, 1986, p. 35 - 50.
(5) P. GRASSBERGER et I. PROCACCIA, in Physica, 9D, 1983, p. 189 - 208.
(6) C. NICOLIS et G. NICOLIS, «Is there a Climatic Attractor?», in Nature, vol. 311, 1984, p. 529 - 532.
(7) A. BABLOYANTZ, J.M. SALAZAR et C. NICOLIS, «Evidence of Chaotic Dynamics of Brain Activity During the Sleep Cycle», in Physics Letter, vol. 111 A, 1985, p. 152 - 156. A. BABLOYANTZ et A. DESTEXHE, «Low Dimensional Chaos in Epileptic Seizure», in Proc. Natl. Acad. Sci. USA, vol. 83, 1986, p. 351.
(8) Voir notamment Laws of Nature and Human Conduct, éd. I. Prigogine et M. Sanglier, Bruxelles, C.O.R.D.E.S., 1987.
(9) Voir notamment J. B. CORLISS, J. A. BAROSS et S. E. HOFFMAN, actes du 26e Congrès international de Géologie, Paris, juillet 1980, Oceanologica Acta Special Issue.
(10) Voir C. E. SHANNON et N. WEAVER, The Mathematical Theory of Communication, Urbana, University of Illinois Press, 1949.
(11) Voir G. CHAITIN, in Scientific American, mai 1975, p. 47.
(12) G. NICOLIS et S. SUBBA RAO, «Generation of Spatially Asymetric Information - Rich Structures in far from Equilibrium Systems», in Coherence and Chaos in Dynamical Systems, Manchester University Press, 1987.
(13) O. ROSSLER, in Annals of the New York Academy of Sciences, vol. 316, 1979, p. 376.

ـ الفصل الخامس:

(1) J.LIGHTHILL,«The Recently Recognized Failure of Predictability in Newtonian Dynamics», op. cit., p. 38.
(2) P. DUHEM, La Théorie physique. Son objet. Sa structure, réédité chez Vrin, Paris, 1981, 2e partie, chapitre III.
(3) Pour plus de détails, voir La Nouvelle Alliance, op. cit., pp. 329 - 343 et 401 - 407.
(4) In Vorträge über die kinetische Theorie der Materie und Elektrizität, 1914. Cité in H. WEYL, Philosophy of Mathematics and Natural Science, Princeton, University Press, 1949, p. 204.
(5) Voir La Nouvelle Alliance, op. cit., p. 280 - 284.
(6) من أجل تفاصيل أكثر حول هذا التحويل المدخل هنا فيما يخص تحـويل الخبـاز، والذي سنجـده أيضاً في الصفحات التي ستلي فيما يخص المنظومات الشواشية «الهاملتونية».
أنظر:

B. MISRA et I. PRIGOGINE, «On the Foundations of Kinetic Theory», in Suppl. Prog. Theor. Phys., vol. 69, 1980, p. 101 - 110; S GOLDSTEIN, B. MISRA et M. COURBAGE, «On Intrinsic Randomness of Dynamical Systems», in J. Stat. Phys., vol. 25, 1981, p. 111 - 126; B. MISRA et I. PRIGOGINE, «Irreversibility and Non - locality», in Lett. Math. Phys., vol. 7, 1983, p. 421 - 429; M. COURBAGE, «Intrinsic Irreversibility of Kolmogorov Dynamical Systems», in Physica, vol. 122 A, 1983, p. 459 - 482; Y. ELSKENS et I. PRIGOGINE, «From Instability to Irreversibility», in Proc. Natl. Acad. Sci. USA, vol. 83, 1986, p. 5756 - 5760; I. PRIGOGINE et Y. ELSKENS, «Irreversibility, Stochasticity and Non - Locality in Classical Dynamics», in Quantum Implications. Essays in Honour of David Bohm, Londres, Routledge and Kegan Paul, 1986, p. 205 - 223.

(7) أنظر أيضاً حول هذا الموضوع: I. EKELAND, Le Calcul et L'Imprévu, Paris, Seuil, 1984.

(8) أنظر بشكل خاص: I. EKELAND, op. cit., J. MOSER, Stable and Random Motions in Dynamic Systems, Princeton, University Press, 1973, A. LIGHTENBERG et M. LIEBERMAN, Regular and Stochastic Motion, Berlin, Springer, 1983.

(9) AA BELLEMANS et J. ORBAN, in Physics Letters, vol. 24A, 1967, p. 620.

(10) T. KUHN, Black - Body Theory and the Quantum Discontinuity, 1894 - 1912, Oxford, Clarendon Press, 1978.

(11) I. PRIGOGINE, Non - Equilibrium Statistical Mechanics, New York, Interscience Pub., Wiley, 1962.

(12) I. PRIGOGINE, E. KESTEMONT et M. MARESCHAL, Velocity Correlations and Irreversibility: a Molecular Dynamics Approach, à paraître.

(13) I. PRIGOGINE, C. GEORGE, F. HENIN, L. ROSENFELD, Chemica Scripta, vol. 4. 1973, p. 5 - 32.

(14) H. MEHLBERG, «Physical Laws and Time's Arrow», in Current Isses in the Philosophy of Sciences, éd. H. Feigl et G. Maxwell, New York, Holt, Rinehart and Winston, 1961, p. 108.

ـ الفصل السادس:

(1) J. VON NEUMANN, Mathematische Grundlagen der Quantenmechanik, Berlin, Springer, 1932.

(2) K. POPPER, Quantum Theory and the Schism in Physics, Totowa, New Jersey, Rowman and Littlefield, 1982, p. 175.

(3) A. EINSTEIN, Verh. Deutsch Phys. Ges., vol. 18, 1916, p.318.

(4) أنظر من أجل الوصف الإحصائي للقفزات الكمومية:
R. J. COOK et H. J. KIMBLE, in Phys. Letters, vol. 54, 1985, p. 1023 - 1026; pour les premières observations, T. SAUTER, W. NEUHAUSER, R. BLATT, P. E.

TOSCHEK, Phys. Letters, vol. 57, 1986, p. 1696 - 1698, et J. C. BERGOUIST, R. G. HULET, W. M. ITANO, D. J. WINELAND, ibid., p. 1699 - 1702.

(5) في حين أن التحوّل الموحّد يسمح في الديناميكا الكلاسيكية، عندما يمكن تحديده، بالمرور من H(p.q) إلى H(J)، فإن التحويل الموحّد في الميكانيك الكمومي «يحرف» المصفوفة التي تمثل المؤثر الهاملتوني، أي تضعها في شكل معين بحيث تكون كل حدودها غير القطرية معدومة.

(6) A. I. M. RAE, Quantum Physics: Illusion or Reality?, Cambridge, University Press, 1986, P. IX - X.

(7) كان هذا التفسير قد اقترح عام 1956 على يد إفريت Everett في أطروحة أشرف عليها ويلر J. Wheeler ثم أعاد طرحها عام 1967 دويت De Witt وغراهام Graham. أنظر:

The Many Worlds Interpretation of Quantum Mechanics, B. DeWitt et N. Graham ed., Princeton, University Press, 1973.

(8) كان كرترايت قد أشار بقوة إلى واقع أن مفهوماً تجريبياً في هذه النظرية مثل مفهوم زمن الحياة لا يمكن أن يتلقى معنى نظرياً دقيقاً بل يظهر على أنه مرتبط بتقريب:

N. Carturright, How the Laws of physics Lie, Oxford, Clarendon Press, 1983.

(9) E. SCHRÖDINGER, «Die Gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik», in Naturwissenschaften, vol. 23, 1935, pp. 807 - 812, 823 - 828, 844-849; L'article a été tradiut en anglais dans Proceedings of the American philosophical Society, vol. 124, 1980, p. 323 - 338.

(10) B. MISRA et E. C. G. SUDARSHAN, «The Zeno's Paradox in Qauntum Theory», in Journal of Mathematical Physics, vol. 18, 1977, p. 756 - 763.

(11) ملاحظة قدمت في مؤتمر سولفاي Solvay الخامس «Electrons et Photons» والذي نشرت أعماله عند Ganthiers - Villars عام 1928.

(12) Dans Albert Einstein, Philosopher Scientist, éd. par P. A. Schlipp, The Library of Living Philosophers, Evanston, Illinois, 1949, p. 669 - 671.

(13) رسالة من باولي إلى ماكس بورن ذكرها هذا الأخير في:

«The Interpretation of Quantum Mechanics», in British journal for the Philosophy of Science, vol. 4, 1953, p. 106; cité dans K. POPPER, Quantum Theory and the Schism of Physics, op. cit. p. 175.

(14) K. POPPER, op. cit., p. 177.

(15) L. ROSENFELD, «L'Evolution de l'idée de causalité», in Mémoires de la Société Royale des Sciences de Liège, 4e série, t. VI, fasc. 1, 1942, p. 57 - 87.

(16) T. Y. PETROSKY et I. PRIGOGINE, «Poincaré's Theorem and Unitary Transformations for Classical and Quantum Systems», in Physica, vol. 147 A, 1988, p. 439.

(17) I. PRIGOGINE et T. Y. PETROSKY, «An Alternative to Quantum Theory», in Physica, vol. 147A, 1988, p. 461.

(18) T. KUHN, Black - Body Theory and the Quantum Discontinuity, 1894 - 1912 Oxford, Clarendon Press, 1978.

ـ الفصل السابع :

(1) Cité in H. PAGELS, Perfect Symmertry, Bantam Books, New York, 1986, p. 165.
(2) A. REY, Le Retour éternel et la Philosophie de la physique, Paris, Flammarion, 1927.
(3) I. PRIGOGINE, Etude thermodynamique des phénomènes irréverisbles, Liège, éd. Desoer. 1947, p. 136.
(4) A. EINSTEIN, «Physik and Realität», in Journ. Franklin Institut, vol. 221, 1936, p. 313 - 347.
(5) Voir S. WEINBERG, Les Trois Premières Minutes de L'Univers, Paris, Seuil, 1978.
(6) Voir H. BONDI, Cosmology, Cambridge, University Press, 1960.
(7) Voir S. WEINBERG, op. cit. et H. PAGELS, Perfect Symmertry, op. cit.
(8) Voir S. WEINBERG, op. cit., ainsi que G. COHEN - TANNOUDJI et M. SPIRO, La Matière - Espace - Temps, Paris, Fayard, 1986.
(9) R. H. BRANDENBERGER, «Quantum Field Theory methods and Inflationay Models», Rev. Mod. Phys., vol. 57, p. 1, 1985 et A. D. LINDE, «The inflationary Universe», Rep. Progr. Phys., vol. 47, p. 925 - 1984.
(10) Voir R. BROUT et F. ENGLERT, «Cosmologie quantique», in Aux confins de L'Univers. Faut - il croire au Big Bang?, éd. J. Schneider, Paris, Fayard, 1987.
(11) E. P. TRYON, Nature, vol. 246, p. 396, 1973.
(12) G. GAMOW, My World Line: An Informal Autobiography, New York, Viking Press, 1970.
(13) I. PRIGOGINE, J. GÉHENIAU, E. GUNZIG et P. NARDONE, à paraîte.
(14) La Matière - Espace - Temps, op. cit., conclusion; voir aussi R. BROUT et F. ENGLERT, Cosmologie quantique, op. cit.
(15) Voir pour ce qui suit, J. - P. LUMINET, Les Trous noirs, Paris, Belfond, 1987.
(16) S. HAWKING. Comm. Math. Phys., vol. 43, 1975, p. 199; J. BEKENSTEIN, Physical Review, vol. D12, 1975, p. 3077.
(17) R. BROUT, F. ENGLERT et E. GUNZIG, Ann. Phys. vol. 115, p. 78, 1978 et Gen. Rel. Gravit., vol. 10, p. 1, 1979; R. BROUT et al., Nucl. Phys. B, vol. 170, p. 228, 1980.
(18) E. GUNZIG et P. NARDONE, Phys. Letter B, vol. 188, p. 324, 1982 et vol. 134, p. 413, 1984, et «Self - Consistent Cosmology, the Inflationary Universe, and all that...» in Fundamentals of Cosmic Physics, vol. 11, p. 311, 1987.
(19) E. GUNZIG, J. GÉHENIAU, I. PRIGOGINE, «Entorpy and Cosmology», Nature, vol. 330, 1987, p. 621.

ـ الفصل الثامن :

(1) Collection Idées, Paris, Gallimard, 1973.

(2) PLATON, Le Sophiste, 248 a, traduction de L. Robin (Œuvres complètes, Paris, Gallimard, Bibliothèque de La Pléiade, vol. 2).

(3) K. POPPER, Unended Quest, op. cit., p. 160.

(4) L. WITTGENSTEIN, Philosophical Investigations, ξ 107, Oxford, Blackwell, 1953.

(5) Voir notamment J. S. McCASKILL, Biol. Cybern., vol. 56, 1984, p. 63.

(6) I. PRIGOGINE, «Symboles en physique», in Cahiers internationaux du symbolisme, n° 3, 1962, p. 2.

(7) H. BERGSON L'Evolution créatrice, op. cit. p. 534.

بين الزمن والأبدية

يعــالج «بـين الزمن والأبدية» بعـض المســائل العلمـية النظريــة التي شهـدت تطورات كبـرى، خصوصاً موضوع الزمن. ففي الميكانيك الكمومي وعلم الكون تطرح اسئلة حـول مفـاهيم الفـراغ والزمن والمادة، تـدفع الفـيــزياء لتـقــبّل فكرة اللاعكوسيــة التي ستـسمح لنا باقـتراح تغـيـير للمناظير الجوهرية لعلم الفيزياء

وهذا الكتاب ليس مقدمة لـلفيزياء المعاصرة ولن يجـد الـقـارئ فـيـــه اي عـرض للديـنـاميك او الترموديناميك او للديناميك الكمومي او النسبية وإنما هو مـتابعة لمسألة وحيدة عبـر حقـولها المتعددة.

إن تجــربتنا الملخّـصـة فــي هذا الكتـاب ترى ان مجموعة الأوضاع الفيزيائية الظاهراتية لا تثبت فقط ســهم الزمن، بل تقودنا اليوم لفـهم عالم هو في صــيـــرورة، عــالم يكـتـسي مـعـنى لا يمكن اخــتـزاله. وبدلاً من مـحـاولة اسـتنتـاج الزمن الظاهراتي في الـزمن الجـوهري، فـإننا سنطرح للمسـاءلة مفهوم الزمن الفـيزيائي في النظريات الأساسية ابتداءً من البداهة الظاهراتية.

لقــد دخل الزمن اللاعكوس الـيـوم الى كــافـة مستويات الفـيزياء، وهـو يسمح باسـتكشـاف إمكانية حصول ترابط جديد مـتمحور حول هذه الصـيرورة التي كـانت فـيزياء الأمس تعـرفهـا كعائق. والـيوم لم تعد الصيرورة تـتعارض مع المعقولية، لكن مسـالة الأبدية لم تصحر الفيزياء بســبب ذلك. بل هي على الـعكس تمامـاً. فــهي تنبـعث كـمـا سنرى في سـلسلة لا نهـائيــة من الأكوان تترجم الأبدية اللامـشروطة لسهم الزمن الذي سيمنح الفيزياء تماسكها الجديد.